



**Міжнародна конференція студентів
і молодих науковців з теоретичної
та експериментальної фізики
ЕВРИКА-2024**

**International Conference of Students and
Young Scientists in Theoretical and
Experimental Physics
HEUREKA-2024**

**ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ
BOOK OF ABSTRACTS**



*14-16 травня 2024 року
Львів, Україна
May 14-16, 2024
Lviv, Ukraine*

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет імені Івана Франка
Фізичний факультет

**Міжнародна конференція студентів
і молодих науковців з теоретичної та
експериментальної фізики**

ЕВРИКА–2024

Львів, 14-16 травня

ТЕЗИ ДОПОВІДЕЙ

Львів-2024

**International Conference of Students and Young
Researchers in Theoretical and Experimental Physics
“HEUREKA-2024”**



Advisory Committee:

Stadnyk V. – Prof., Lviv, Ukraine (Chairman)
Bovgyra O. – Dr., Lviv, Ukraine (Secretary)
Voloshinovskii A. – Prof., Lviv, Ukraine
Mudry S. – Prof., Lviv, Ukraine
Tkachuk V. – Prof., Lviv, Ukraine
Kapustianyk V. – Prof., Lviv, Ukraine
Melekh B. – Prof., Lviv, Ukraine
Pavlyk B. – Prof., Lviv, Ukraine
Bordun O. – Prof., Lviv, Ukraine
Olenych I. – Prof., Lviv, Ukraine
Shuvar R. – Dr., Lviv, Ukraine
Karbovnyk I. – Dr., Lviv, Ukraine
Kushnir O. – Prof., Lviv, Ukraine
Krelowski J. – Prof., Torun, Poland
Andriyevskyy B. – Prof., Koszalin, Poland
Leonski W. – Prof., Zielona Gora, Poland
Rybicki J. – Prof., Gdansk, Poland
Lapinski M. – Dr., Gdansk, Poland
Piasecki M. – Dr., Częstochowa, Poland
Chorniy Yu. – Dr., Vilnius, Lithuania
Gloskovskii A. – Dr., Hamburg, Germany
Stryhanyuk H. – Dr., Leipzig, Germany
Pavlyukh Ya. – Dr., Halle, Germany
Yavorskyi T. – Dr., Coventry, United Kingdom

Organizing Committee:

Chornodolsky Ya. – Dr., Lviv, Ukraine (Chairman)
Furgala Yu. – Dr., Lviv, Ukraine (Co-Chairman)
Rudysh M. – Dr., Lviv, Ukraine (Secretary)
Shtablavyi I. – Dr.Sc., Lviv, Ukraine
Luchechko A. – Prof., Lviv, Ukraine
Velhosh S. – Dr., Lviv, Ukraine
Ftomyn N. – Dr., Lviv, Ukraine
Malyi T. – Dr., Lviv, Ukraine
Shchepanskyi P. – Dr., Lviv, Ukraine
Pryshko I. – PhD Student, Lviv, Ukraine
Poverzhuk V. – PhD Student, Lviv, Ukraine
Popilovskyi N. – PhD Student, Lviv, Ukraine
Sembratovych N. – PhD Student, Lviv, Ukraine

СЕКЦІЯ А (МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО)

A mathematical model for the modified green-lindsay theory under the influence of non-local and two temperature in generalized thermoelastic medium <i>Indu Bala, Sachin Kaushal</i>	A1
Effects of annealing on the fluctuation conductivity and pseudogap in slightly doped HoBa ₂ Cu ₃ O _{7-δ} single crystals <i>A. L. Solovjov, A. S. Kolisnyk, L. V. Omelchenko, E. V. Petrenko, Yu. A. Kolesnichenko and R. V. Vovk</i>	A2
Low temperature mechanical and acoustic properties of non-equiatomic twip and trip high entropy alloys of the FeMnCoCr system <i>I.V. Kashuba, E.D. Tabachnikova, T.V. Hryhorova, S.E. Shumilin, Yu.O. Shapovalov, Yu.A. Semerenko, S.N. Smirnov, I.V. Kolodiy, M.A. Tikhonovsky, M.J. Zehetbauer, E. Schafner</i>	A3
Вплив лазерного опромінення на структуру аморфних систем на основі Fe і Co для 3D-друку <i>Роман Білик, Юрій Кулик, Степан Мудрий</i>	A4
Особливості поверхневого натягу і густини еквіатомного розплаву InPbGaSn <i>Роман Овсяник, Олександр Галяткін, Роман Білик, Степан Мудрий</i>	A5
Дослідження механічних властивостей композитів на основі політетрафторетилену та графітізованого пилу <i>Наталія Бондарь, Анна-Марія Томіна, Ольга Рижко, Валерія Наголенко</i>	A6
Electrical resistance temperature dependences features of Bi _{88.08} Mn _{11.92} in magnetic fields <i>Valerii Yarovy, Andrii Terekhov, Krzysztof Rogacki, Andrii Solovjov</i>	A7
Investigation of the intrinsic absorption edge in bulk hexagonal boron nitride crystal <i>Vladyslav Vasil'ev, Borys Turko, Bohdan Sadovyi, Petro Sadovyi, Andriy Nikolenko, Ihor Petrusha, Volodymyr Kapustianyk</i>	A8
Вплив кобальту на електричні властивості оксиду цинку <i>О.І. Віра, Ю.І. Еліашевський, В.Б. Капустяник, Б.І. Турко</i>	A9
Аналіз температурних залежностей теплопровідності композитних матеріалів <i>Юлія Горбатенко, В. Саган, О. Романцова</i>	A10
Структура та сцинтиляційні характеристики кристалів Cs ₂ HfCl ₆ та Cs ₂ ZrCl ₆ <i>Володимир Коломієць, Володимир Капустяник</i>	A11
Hyperspectral imaging of amber-like materials <i>Maksym Fedorchuk, Valentyn Krivtsov</i>	A12
The influence of carbon nanospheres on the electrical resistivity of nanocomposite Sn _{96.5} Ag ₃ Cu _{0.5} and Sn _{95.5} Ag _{3.8} Cu _{0.7} alloys <i>Viktor Poverzhuk</i>	A13
Еволюція структури аморфних сплавів системи Zr-Cu-Al у процесі їхнього формування методом лазерного плавлення <i>Назар Попільовський, Назар Сембратович</i>	A14
V(T) phase diagrams of freons of the ethane series <i>V.V. Sagan, V.A. Konstantinov</i>	A15
Магнітні тонкі плівки на основі кобальту <i>Назар Сембратович, Юлія Никируй, Микола Соловійов</i>	A16

Дослідження впливу режимів експлуатації на трибологічні властивості графітопласту <i>Анна-Марія Томіна, Катерина Єрьоміна, Олександр Єрьоменко, Вікторія Мізіна</i>	A17
Корозійна стійкість швидкоохолоджених сплавів на основі алюмінію <i>Тетяна Калініна, Антон Хлебніков, Ілля Гурін</i>	A18
Вирощування кристала Na_2SO_4 та дослідження інфрачервоних спектрів <i>Д. Павлишин, М.Я. Рудий, А.О. Федорчук, Р.С. Брезвін, Л.Т. Карпюк</i>	A19
Effect of thermal treatment on structural and optical properties of Ge-rich- HfO_2 films <i>D. Khomenkov, S. Ponomaryov, O. Melnichuk, L. Khomenkova, X. Portier, J. Heitmann, F. Gourbilleau</i>	A20
Mechanical characterization of $\text{Ag}_{6+x}(\text{P}_{1-x}\text{Ge}_x)\text{S}_5\text{I}$ and $\text{Ag}_7(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)\text{S}_5\text{I}$ single crystals using instrumented indentation with vickers indenter <i>I.O. Shender, V.V. Pechko, L.M. Suslikov, A.I. Pogodin, M.J. Filep, T.O. Malakhovska, O.P. Kokhan</i>	A21
Вплив спікання порошків кубічного нітриду бору на твердосплавній підкладці на розподіл кобальту в робочому шарі PCBN композиту <i>Андрій Пацук, Ярослав Романенко</i>	A22
Термодинамічні розрахунки для визначення умов одержання полікристалів з різними комбінаціями фазового складу шихти системи cBN - Al (Ti, Co, Ni) <i>Ярослав Романенко, Андрій Пацук</i>	A23
Synthesis, structural and morphological properties of $\text{CdSe}_{1-x}\text{S}_x$ thin films <i>Andrii Kashuba, Hryhorii Ilchuk, Ihor Semkiv</i>	A24
PETG material with antibacterial properties for 3D printing <i>Ostap Senkiv, Maksym Fedorchuk, Anastasiia Malynovska</i>	A25
Теоретичне дослідження фононного спектру кристала $(\text{NH}_4)_2\text{BeF}_4$ <i>Н. Бобил'як, М. Рудий, Р. Брезвін, А. Капуба</i>	A26
Особливості формування наноконтрозної структури в аморфному сплаві $\text{Al}_{87}\text{Ni}_8\text{Gd}_5$ під час нагрівання <i>Мудрий С.І., Кулик Ю.О., Пруніца В.В.</i>	A27

СЕКЦІЯ В (ОПТИКА І СПЕКТРОСКОПІЯ)

Enhanced chiral sensing with surface plasmons in prism coupling <i>Oleh Demianyk, Sergey Polevoy, Oleh Yermakov</i>	B1
Optical constants of 2 nm silver films calculated with phillips approach <i>Y. Borovets, I. Pylypiv, V. Ilchuk, R. Marushchak</i>	B2
Cross focusing of two coaxial-gaussian laser beams in thermal quantum plasmas: effect of relativistic nonlinearity <i>Naveen Gupta</i>	B3
Self focusing and self phase modulation of elliptical Q-Gaussian laser beams in diffraction managed cubic quintic nonlinear media <i>Abhay Limbu, Naveen Gupta</i>	B4
Spatial frequency modulation of Q-Gaussian laser beams in a collisional plasma featuring an axial density ramp <i>Aatif Ahmad, Naveen Gupta</i>	B5

Наноструктуроване оптоволокно для посиленого захвату світла <i>Олег Єрмаков</i>	B6
Зміщення кута Брюстера за допомогою двовимірних матеріалів та структур <i>Оксана Маньковська, Олег Єрмаков</i>	B7
Study of the influence of various factors on the optical band gap of polyaminoarenes <i>Yuliia Markiv, Oksana Konopelnyk, Olena Aksimentyeva</i>	B8
Luminescence of Dy ³⁺ doped zinc-borate glasses for white light emission applications <i>R. Pasternak, M. Prokopchuk, A. Mahlovana, M. Kushlyk, D. Slobodzyan, Y. Shpotyuk, J. Szlęzak, B. Mahlovanyi, A. Luchechko</i>	B9
Електронна енергетична структура кристалів ABX ₃ (A = Cs; B = Pb, Sn, Ge; X = Cl, Br, I) <i>Яцюшка Д.В., Щудло М.І., Чорнодольський Я.М.</i>	B10
Вплив одновісного навантаження на двоприменезаломлення кристалів сульфату рубідію <i>Іван Пришко, Орест Штука, Василь Стадник, Руслан Брезвін</i>	B11
Наногібриди Fe ₃ O ₄ -Ag як нові seira-sers структури для виявлення тиміну <i>Максим Ралєв, Олена Фесенко, Андрій Яремкевич, Євген Леоненко, Олена Лавриненко</i>	B12
Photovoltaic properties of CsPbBr ₃ : correlation between photocurrent and thermostimulated conductivity <i>Yuriy Tymkiv, Roman Lys, Roman Gamernyk</i>	B13
Оптико-спектральні властивості домішкових кристалів LiNH ₄ SO ₄ β-модифікації <i>А. Шаправський, Р.Брезвін, П. Щепанський, В. Стадник, М. Рудиш</i>	B14
Баричні зміни двоприменезаломлення домішкових кристалів β-LiNH ₄ SO ₄ :Mn <i>Д. Якимець, А. Шаправський, Р. Брезвін, М. Рудиш, В. Стадник, П. Щепанський</i>	B15
Люмінесцентні властивості стекол 20Ga ₂ S ₃ - 60 GeS ₂ - 20Sb ₂ S ₃ легованих Er та Nd <i>Тетяна Яцинюк, Віталій Артюх, Анастасія Тарасенко, Андрій Кевшин, Інна Іващенко, Володимир Галян</i>	B16
Spectral-kinetic characteristics of CsSnBr ₃ crystals upon excitation by synchrotron radiation <i>Vitalii Shvets, Ivan Pryshko, Taras Demkiv</i>	B17
Вплив атмосфери відпалу на оптичні властивості тонких плівок ZnGa ₂ O ₄ :Cr <i>Іванна Медвідь, Богдан Бордун, Іван Бордун, Ірина Кофлюк, Володимир Бігдай, Іван Хомішин, Назарій Порада</i>	B18
Методика дослідження властивостей газорозрядної плазми в сумішах інертних газів з парами атомів халькогену <i>Євген Світличний, Андрій Генерал</i>	B19
Газорозрядна камера для наплення тонких плівок в плазмі імпульсно - періодичного розряду у суміші S-He <i>Євген Світличний</i>	B20
Electronic structure and luminescence spectra of K ₂ SO ₄ crystal <i>М.Ya. Rudysh, R.S. Brezvin, O.Yu. Khyzhun, V.Y. Stadnyk, P.A. Shchepanskyi, M. Piasecki, N.M. Melnykova, A. Kotlov, A.S. Voloshinovskii</i>	B21

Методи воготовлення графену

- Біляк Роман*..... C1
- Раманівська спектроскопія легованих Cu плівок ZnO, отриманих методом спреї-піролізу
- Богдан Бойко, Максим Єрмаков, Роман Пшеничний, Анатолій Опанасюк, Олексій Климов, Вісенте Муньоз-Санхосе*..... C2
- Electrophysical properties and thermal conductivity of composite based on zinc oxide and reduced graphene oxide
- Vasyl Pakosh, Borys Turko, Vladyslav Vasil'ev, Bohdan Sadovyi, Volodymyr Kapustianyk*..... C3
- Вплив легування індієм на структурні та оптичні характеристики плівок ZnSe, отриманих методом термічного вакуумного випарування для використання в електроніці
- Віталій Васильєв, Максим Іващенко, Анатолій Опанасюк*..... C4
- The figure of merit of Ag films on Ge underlayers
- A. Huk, I. Pylypiv*..... C5
- Радіаційні ефекти в термохромних полімерних мікрокомполізитах на основі кристалів $[\text{NH}_2(\text{C}_2\text{H}_5)_2]_2\text{CuCl}_4$
- В. А. Давидович, Ю. В. Чорній, В. А. Коломієць, А. М. Грицак, В. Б. Капустяник*.... C6
- Effect of dopant concentration and crystalline structure on absorption edge of ZnO:B films
- Danylo Honchar, Borys Turko, Vladyslav Vasil'ev, Bohdan Sadovyi, Yuriy Eliyashvskyi, Yuriy Kulyk, Volodymyr Kapustianyk*..... C7
- Вплив методики отримання на магніторезистивні властивості системи $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{SiO}_2]_{\text{н/п}}$
- Сергій Долгов-Гордійчук, Влад Жаботинський, Олександр Пилипенко, Ірина Пазуха*..... C8
- Obtaining modified $\text{La}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{MnO}_3$ for cathodes of fuel cells
- Nalyna Kolkovska, Pavlo Kolkovskyi, Andriy Soltys, Ivan Yaremiy, Bohdan Rachiy, Nataliia Ivanichok*..... C9
- Нееквівалентність міжатомної силової взаємодії і її прояв при проведенні модельних розрахунків фононих залежностей кристалів BaTiO_3
- А. Корнейчук, А. Герасименко, І. Небола*..... C10
- Електронна структура нанокластерів $(\text{ZnO})_{12}$, легованих атомами In, Al, Ga
- Богдан Левченко, Віктор Дзіковський, Марія Коваленко, Олег Бовгира*..... C11
- Дослідження морфології поверхні тонких плівок $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Cr}$ і $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Mn}$
- Іванна Медвідь, Марія Процак, Катерина Біляк, Богдан Бордун, Іван Бордун, Віктор Сорокін*..... C12
- Основи одержання вуглецевих сорбентів
- А. Солтис, С. Климкович, Т. Бедрій, С.-В. Склепова, О. Винничук*..... C13
- Вплив плазмонних збуджень на поглинальні властивості ультратонких металевих плівок на діелектричних підкладках
- Данило Чічерін*..... C14

Вплив ізовалентної заміни катіонів Ві на катіони Sm на кристалічну структуру та оптичні властивості нанокompatитів на основі фериту вісмуту <i>А. Яремкевич, М. Раллев, Є. Леоненко, О. Фесенко, Г. Морозовська</i>	C15
Електронна структура гібридних органічно-неорганічних перовськітів <i>Володимир Добрянський, Михайло Онисько, Марія Коваленко, Олег Бовгира</i>	C16
Трибоелектричні генератори на основі наноструктурованого оксиду цинку <i>Аліна Федоненко, Володимир Сухов, Сергій Петрушенко, Руслан Сухов, Сергій Дукаров</i>	C17
Адсорбційні та магніторезистивні властивості плівкових матеріалів на основі вольфраму <i>Лариса Однодворец, Іван Бурик, Данііл Назаренко, Ілля Матяш, Євген Федченко, Любомир Рашковецький, Іван Борденюк</i>	C18

СЕКЦІЯ D (КВАНТОВА ТЕОРІЯ, КВАНТОВА ІНФОРМАТИКА)

Hierarchy of quantum correlations in continuous-variable systems <i>Haleema Sadia Qureshi</i>	D1
Заплутаність спіну одиниця з іншими спінами у графовому стані для усіх можливих початкових станів <i>Колесник Ростислав</i>	D2
Quantifying the entanglement of rank-2 mixed quantum states with quantum programming <i>N. A. Susulovska, Kh. P. Gnatenko</i>	D3
Studies of evolution and geometric measure of entanglement of graph states of spin system with heisenberg interaction <i>Sviatoslav Tymuk</i>	D4

СЕКЦІЯ E (ФІЗИКА КОНДЕНСОВАНИХ СИСТЕМ)

Morphological studies of solidsolutions (Ge ₂) _{1-x} (ZnSe) _x <i>A.Sh.Razzokov</i>	E1
Insights into glassy features in tcmx crystals: correlations, anomalies, and granato's interstitialcy model <i>Daria Szewczyk, A. Jeżowski, A.I. Krivchikov, J. Ll. Tamarit, M.A. Ramos</i>	E2
Structure stability and energy properties of cadmium telluride clusters <i>Liliia Deva, Ihor Semkiv, Myron Rudysh, Pavlo Shchepanskyi, Andrii Kashuba</i>	E3
Природа сцинтиляцій і термостимульованої люмінесценції в кристалі вольфрамату кальцію <i>А. Грицак, М. Рудко, В. Капустяник</i>	E4
Calculation of electronic structure and physical properties for N ₂ P ₂ X ₆ (N = Sn, Mn; X = S, Se) compounds <i>V.Yu. Klevets, N.D. Savchenko, V.Yu. Bihanych, A.G. Slivka, I.I. Haysak, A.I. Susla, Y.I. Cheipesh</i>	E5
Електричні явища в плівках сполук на основі Gd і Sc <i>Юрій Гончар, Віктор Присяжнюк</i>	E6

Побудова кристалічних структур та моделювання властивостей сполук систем Gd-Fe та Sc-Cu.

Іваньо Андрій, Віктор Присяжнюк..... E7

Дослідження структури аморфних і полікристалічних плівок сполук на основі гадоліні і скандію методами електронної мікроскопії.

Артем Осадчий, Віктор Присяжнюк..... E8

Effect of the inner nanostructure of vacuum condensates deposited by magnetron sputtering on their hardness and adhesion to a glass substrate

Volodymyr Stryzhaka, Martin Šetinab, Sergey Petrushenkoab, Ruslan Sukhov, Sergey Dukarov..... E9

Електричні властивості поліаніліну та поліпіролу допованих Ti_2AlC

Артем Жицький, Юлія Горбенко, Олена Аксіментьєва..... E10

СЕКЦІЯ F (АСТРОФІЗИКА ТА АСТРОНОМІЯ)

Self focusing of q-Gaussian alfvén waves in solar coronal plasmas

Md. Sohail and Naveen Gupta..... F1

Розрахунок структури нормальних зір у рамках узагальненої політропної моделі

Д. Дзіковський, М. Ваврух..... F2

Поєднання Те-методу з модельними іонізаційно-е-методу з модельними іонізаційно-МЕТе-методу з модельними іонізаційно-оду з модельними іонізаційно-методу з модельними іонізаційно-корекційними множниками

А. Козак, Б. Мелех..... F3

Дослідження якості річного передбачення огинаючої інфразвуку

Сорока О.С., Мелех Б.Я. F4

Фотографічні спостереження об'єктів сонячної системи і їх обробка

Лавренюк Євген Вікторович..... F5

Фотоіонізаційний аналіз результатів хемодинамічних симуляцій еволюцій карликових галактик з активним зореутворенням для віку 100 млн. років: оцінка достірності наближення Outward-Only при розрахунку дифузного іонізуючого випромінювання

Михайло Шевченко, Богдан Мелех..... F6

Випромінювання гокінга та унру при надсвітлових подорожах з використанням варп-двигуна

Олексій Німчук, Юрій Кулініч..... F7

Новий підхід до обчислення площі сонячних плям

Баран Олександр, Огородник Богдан, Присяжний Андрій..... F8

Мультикомпонентне моделювання світіння перших областей зореутворення

Сергій Чудик, Богдан Мелех, Ігор Кошмак..... F9

СЕКЦІЯ G (КОМП'ЮТЕРНА ЕЛЕКТРОНІКА ТА ВБУДОВАНІ СИСТЕМИ)

Система дослідження якості повітря на основі технології інтернету речей

Святослав Баб'як, Ігор Оленіч..... G1

Challenges in machine learning development with amazon sagemaker

G2

<i>Yevhen Bershchanskyi, Halyna Klym</i>	
Розробка автоматизованого комплексу для дилатометричних та діелектричних вимірювань на базі Robot Operating System	
<i>Олексій Вишневський, Ігор Гірник, Юрій Еліяшевський</i>	G3
Distributed image processing using Apache kafka	
<i>Nazar Karpiuk, Halyna Klym</i>	G4
Вдосконалення настільного годинника за допомогою аналізу мікроклімату, голосового асистента та Pomodoro-таймера	
<i>Дмитро Козлюк, Іван Жолубак</i>	G5
Інтелектуальна система догляду за рослинами	
<i>Роман Коростенський, Михайло Павлик, Ігор Оленич</i>	G6
Ble ranging performance under strong Wi-Fi interference	
<i>Nazarii Kotliar, Igor Kravets, Andrii Luchechko</i>	G7
Architectural approaches in micro-frontend implementations	
<i>Oleksandr Stepanov, Halyna Klym</i>	G8
Enhancing residential air quality monitoring through advanced filtration techniques and integrated sensor data fusion using an Arduino Uno-based system	
<i>Ivan Rudavskyi, Halyna Klym</i>	G9
Мікрокомп'ютерна система для визначення кольору фізичних об'єктів	
<i>Тетяна Скалій</i>	G10
Відмінності у реалізації принципів технології об'єктно-орієнтованого програмування в мовах Object Pascal (Delphi) і Visual C++	
<i>Захар Держко, Іван Хвищун</i>	G11
Приладове моделювання польових транзисторів із каналом у вигляді двовимірних матеріалів	
<i>Іван Бурик, Сергій Павленко, Антон Биркун, Лариса Однорець, Микола Бурик, Олександр Лісовий</i>	G12

СЕКЦІЯ Н (МОДЕЛЮВАННЯ ЯВИЩ ТА ПРОЦЕСІВ)

Виявлення точок біфуркацій у динамічних системах з хаосом	
<i>Олег Сідор, Іван Хвищун</i>	N1
Визначення еквівалентних схем заміщення рідин на основі безконтактної електричної імпедансної спектроскопії	
<i>Ярослав Берко, Андрій Лучечко</i>	N2
Моделювання пошуку цільових груп користувачів у соціальних мереж	
<i>І.С. Перекрестов, А.М. Чмелевський, В.М. Молочков, Д.О. Калиненко, В.С. Ситніков</i>	N3
Measurement of the separation force of the disc from the liquid in distance learning conditions	
<i>Нladyshko Anastasiia</i>	N4
Моделювання рівняння стану двовимірної системи методом молекулярної динаміки	
<i>Владислав Лапко</i>	N5
Study of bifurcations influence on dynamics of traffic flows within complex lorenz model	
	N6

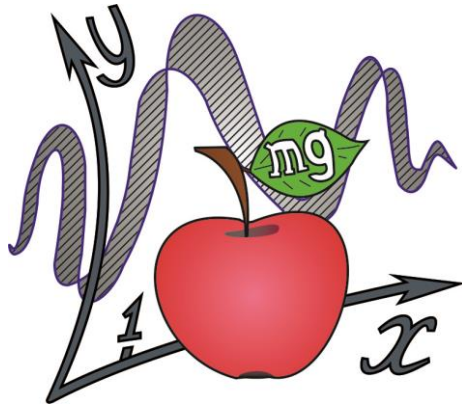
<i>Oleksii Khomenko, Oleksiy Shikura, Kateryna Khomenko</i>	
Комп'ютерне моделювання газу твердих сфер з урахуванням квантового тунельного ефекту <i>Софія Приходько, Орест Григорчак</i>	H7
Моделювання та аналіз експлуатаційних характеристик газотурбінного двигуна <i>Рябчук Каріна, Вадим Даценко</i>	H8
Використання комп'ютерного моделювання для аналізу та оптимізації ефективності сонячних батарей в умовах змінного освітлення <i>Дмитро Феденко</i>	H9
Modeling the thermoluminescence of CsPbBr ₃ crystals <i>Volodymyr Turta, Ivan Pryshko, Oleksandr Halyatkin, Taras Demkiv</i>	H10

СЕКЦІЯ І (СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА АНАЛІЗ ДАНИХ)

Визначення оптимального оптимізатора для нейромережі при розробці систем автоматичного тегування зображень <i>Андріан Козинець</i>	I1
Інтеграція моделей машинного навчання в DATA MESH структуру <i>Маркіян Фостяк</i>	I2
Етичні аспекти штучного інтелекту <i>Олена Крикля</i>	I3
Використання генетичного алгоритму у задачі оптимізації розміщення об'єктів електромережі <i>Нестеренко Андрій</i>	I4
Optimization of the air pollution detection system <i>Volodymyr Hura</i>	I5
Application of machine learning algorithms for gas recognition <i>Oleh Osadchuk, Igor Olenych</i>	I7
Pathfinding approach based on artificial BEE COLONY <i>Oleh Yarosh, Oleh Sinkevych, Bohdan Sokolovsky</i>	I8
Мережеві характеристики зображень та їхній зв'язок із часткою шумів <i>Олексій Кравчук, Іван Довгань, Андрій Дребот, Олег Кушнір</i>	I9
Розробка навчальної веб платформи для підготовки населення до війни <i>Данило Петрусенко, Михайло Павлик</i>	I10
Fine-tuning LLAMA 2 for sentiment analysis <i>Marianna Prytula, Igor Olenych</i>	I11
Automated rest API documentation using chatgpt for Node.JS microservice <i>Oleh Chaplia, Halyna Klym</i>	I12
Порівняльний аналіз методів оптимізації моделей глибокого навчання <i>Ігор Яковенко, Ярослав Бойко, Михайло Павлик</i>	I13
Інтеграція моделей машинного навчання в data mesh структуру <i>Маркіян Фостяк</i>	I14
Розробка веб застосунку для організації спільних туристичних подорожей <i>Юрій Кузьо, Михайло Павлик</i>	I15

Solving the ground state electronic wavefunction by variational montecarlo with a neural network ansatz

Mykhailo Moroz, Oleg Bovgyra..... I16



СЕКЦІЯ А

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

SECTION A

MATERIALS SCIENCE



A MATHEMATICAL MODEL FOR THE MODIFIED GREEN-LINDSAY THEORY UNDER THE INFLUENCE OF NON-LOCAL AND TWO TEMPERATURE IN GENERALIZED THERMOELASTIC MEDIUM

Indu Bala, Sachin Kaushal

Department of Mathematics, School of Chemical Engineering and Physical Sciences, Lovely Professional University, Phagwara, India

E-mail: sachin_kuk@yahoo.co.in

This paper introduces a novel model for a generalized thermoelastic medium with homogeneity and isotropy, by applying the Modified Green-Lindsay (MG-L) theory of thermoelasticity. The focus is on analysing the deformation due to time-harmonic by considering the impact of non-local and two-temperature (TT) parameters. The governing equations are solved using dimensionless quantities and a potential function. To address the boundary value problem in the frequency domain, the Hankel transform is employed. Specific boundary conditions, such as a normal force or thermal source, are applied. Analytical expressions for components of displacement, stresses, conductive temperature, and temperature distribution are derived in the transformed domain. A numerical inversion technique is utilised to translate the solution into the physical domain. The study delves into exploring the influence of non-local and two-temperature parameters, as well as different theories of thermoelasticity on stresses, temperature distribution and conductive temperature. These effects are visually represented through graphical illustrations. Additionally, special cases of interest are examined and discussed.



EFFECTS OF ANNEALING ON THE FLUCTUATION CONDUCTIVITY AND PSEUDOGAP IN SLIGHTLY DOPED $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ SINGLE CRYSTALS

A. L. Solovjov^{1,2,3}, A. S. Kolisnyk¹, L. V. Omelchenko¹, E. V. Petrenko¹,
Yu. A. Kolesnichenko¹ and R. V. Vovk³

¹B. Verkin Institute for Low Temperatures Physics and Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine Kharkiv 61103, Ukraine

²Institute for Low Temperatures and Structure Research, Polish Academy of Sciences, Wroclaw 50-422, Poland

³The Faculty of Physics, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv 61022, Ukraine

e-mail: kubandrey606@gmail.com

High-temperature superconductors (HTSCs) present a pressing challenge in the quest for a comprehensive theoretical framework, particularly in the pursuit of identifying novel superconductors boasting even higher critical temperatures (T_c), ideally approaching room temperature. A fundamental aspect in unraveling the enigmatic properties of HTSCs involves the investigation of the pseudogap phenomenon, which manifests notably in underdoped cuprates at temperatures $T^* \gg T_c$.

In this study, we focus on exploring the intricate interplay between superconductivity and magnetism during the annealing process of $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals, wherein the Ho ions contribute their own magnetic moment of approximately $\mu_{\text{eff}} \approx 9.7\mu_B$. These compounds offer the advantage of exhibiting noticeable alterations in their properties, whether through the emergence of additional defects induced by rapid quenching from temperatures of around 600°C, or via room-temperature annealing over a period of up to five days post-fabrication, leading to enhancements in their characteristics [1].

Experimental investigations involved measuring the temperature-dependent resistivity $\rho(T)$ of lightly doped $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals, enabling the derivation of the temperature dependences of the excess conductivity (FLC) $\sigma'(T)$ and the pseudogap parameter $\Delta^*(T)$ within the framework of the local pair model, a pursuit not previously undertaken. Throughout the annealing stages, the FLC near T_c consistently adhered well to the predictions of the 3D Aslamazov-Larkin fluctuation theory. However, an intriguing anomalous increase in 2D FLC emerged during an intermediate annealing stage, attributed to the influence of uncompensated magnetic moments within $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, thereby challenging the applicability of the 2D Maki-Thompson fluctuation theory.

The temperature dependence of the pseudogap for the quenched sample exhibits a characteristic shape indicative of single crystals harboring a plethora of defects [2]. Notably, $\Delta^*(T)$ displays two minor additional peaks at elevated temperatures, a hallmark feature of $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals, suggestive of their two-phase nature. Upon annealing, noticeable alterations in the shape and slope of $\Delta^*(T)$ occur, likely attributed to intensified magnetic interactions.

[1] G. Ya. Khadzhai, R. V. Vovk, N. R. Vovk, Yu. I. Boiko, S. N. Kamchatnaya, V. M. Pinto Simoes, and O. V. Dobrovolskiy, *Mod. Phys. Lett. B* **32**, 1750367 (2017); DOI: [10.1142/S0217984917503675](https://doi.org/10.1142/S0217984917503675)

[2] A. L. Solovjov, L. V. Omelchenko, E. V. Petrenko, Yu. A. Kolesnichenko, A. S. Kolesnik, and R. V. Vovk, *Low Temp. Phys.* **49**, 115–127 (2023); DOI:10.1063/10.0016484



LOW TEMPERATURE MECHANICAL AND ACOUSTIC PROPERTIES OF NON-EQUIATOMIC TWIP AND TRIP HIGH ENTROPY ALLOYS OF THE FeMnCoCr SYSTEM

**I.V. Kashuba^a, E.D. Tabachnikova^a, T.V. Hryhorova^a, S.E. Shumilin^a,
Yu.O. Shapovalov^a, Yu.A. Semerenko^a, S.N. Smirnov^a, I.V. Kolodiy^b,
M.A. Tikhonovsky^b, M.J. Zehetbauer^c, E. Schafler^c**

^a B. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine, 47 Nauky Ave., Kharkiv, 61103, Ukraine

e-mail: yuri.semrenko@gmail.com

^b National Science Center Kharkiv Institute of Physics and Technology, 1 Akademichna St., Kharkiv, 61108, Ukraine

^c University of Vienna, Boltzmannngasse, 5 A - 1090 Vienna, Austria

The low-temperature mechanical and acoustic properties of single-phase Fe₄₀Mn₄₀Co₁₀Cr₁₀ (TWIP) and two-phase Fe₅₀Mn₃₀Co₁₀Cr₁₀ (TRIP) high entropy alloys (HEA) were studied in two structural states - coarse-grained (CG) with a grain size of ~ 40 μm, and nanograined (NG) with a grain size of ~ 100 nm (obtained by high pressure torsion (HPT) at 300 and 77 K). For both HEAs, the following regularities were established:

- in the structure of CG and NG states in TRIP and TWIP HEAs deformation (both a quasi-static tension and HPT) leads to a decrease or disappearance of the fcc phase and the increase (or appearance) the volume fraction of the hcp phase;
- the record combination of low-temperature strength and plasticity (at 4.2 K for TWIP $\sigma \sim 1226$ MPa and $\varepsilon \sim 60\%$, for TRIP HEA $\sigma \sim 1513$ MPa and $\varepsilon \sim 50\%$);
- with decreasing temperature from 300 K to 4.2 K yield strength greatly increases. The analysis of this dependence made it possible to establish the thermoactivated nature of the plastic deformation;
- the yield strength of TWIP at 300 K in NG samples increases in comparison with the CG samples ~ 8 times with decreasing plasticity ~ 10 times, and in TRIP the plasticity is absent;
 - the HPT-processed NG samples showed microhardness values which were by ~ 3-5 times larger than those of the CG state;
- for testing temperatures $T < 4.2$ K discontinuous plastic flow and anomalous phenomenon was detected - a decrease in the yield strength with decreasing temperature. It is assumed that this anomalous dependence is due to the mechanism of inertial unzipping of dislocations;
 - as a result of the deformation, a change of the temperature dependence of the dynamic Young's modulus E from an almost linear to a power-law one, while the absolute value of E showed a significant decrease;
 - thanks to the occurrence of TRIP and TWIP mechanisms, and the high solid solution hardening of Fe₅₀Mn₃₀Co₁₀Cr₁₀ and Fe₄₀Mn₄₀Co₁₀Cr₁₀ high-entropy alloys, outstanding mechanical properties can be achieved in cryogenic applications.

The results are discussed in terms of classical plasticity theory as well as of HPT-induced TWIP and TRIP mechanisms.



ВПЛИВ ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЕННЯ НА СТРУКТУРУ АМОΡФНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ Fe і Co ДЛЯ 3D-ДРУКУ

Роман Білик, Юрій Кулик, Степан Мудрий

Львівський національний університет імені Івана Франка,

вул. Кирила і Мефодія 8, 79005, м. Львів,

roman.bilyk@lnu.edu.ua

В останні десятиліття поряд з традиційними способами отримання деталей у матеріалознавстві з'явився новий напрям виробництва – адитивні технології. Вони продовжують динамічно розвиватися, що зумовлено насамперед постійним ростом до експлуатаційних вимог деталей, що проектуються і виготовляються з використанням цих методів 3D-друку.

На сьогодні в адитивних технологіях широко застосовуються матеріали на основі полімерних і керамічних систем, але використання аморфних металевих матеріалів є на доволі низькому рівні. Це пов'язано серед іншого з тим, що термодинамічні та кінетичні умови лазерного спікання та плавлення аморфного порошку є значною мірою нерівноважними. Однак, застосування аморфних систем в адитивних технологіях є перспективним. Це зумовлено наявністю унікальних властивостей таких систем, яка відрізняє їх від традиційних матеріалів. Тому необхідність одержання знань, які б ґрунтовно описували основні процеси і явища, що відбуваються при формуванні продукції методами 3D-друку з аморфних фаз та нанокомпозитів, які є термодинамічно нестабільними, є очевидною для ефективнішого розвитку адитивних технологій.

У цій роботі розглядаються процеси селективного лазерного спікання в аморфних порошкових системах $Fe_{73,5}Nb_3Cu_1Si_{15,5}B_7$ та $Co_{70}Fe_3Mn_{3,5}Mo_{1,5}Si_{11}B_{11}$ з домішками TiO_2 . Порошкову суміш було отримано механічним подрібненням аморфних стрічок $Fe_{73,5}Nb_3Cu_1Si_{15,5}B_7$ та $Co_{70}Fe_3Mn_{3,5}Mo_{1,5}Si_{11}B_{11}$ і подальшим механічним змішуванням з наночастинками TiO_2 .

Після обробки лазерним опроміненням малої потужності, з різною швидкістю сканування за допомогою X-променевого аналізу було вивчено атомну структуру отриманих зразків. В кінцевому підсумку не було виявлено кристалічних фаз в них, що свідчить про збереження аморфної структури і відкриває можливості для подальших досліджень інших фізико-хімічних властивостей цих зразків для потенційного використання в 3D-друці.

Роботу виконано за підтримки Національного фонду досліджень України (номер проєкту: 2022.01/0171).



ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ І ГУСТИНИ ЕКВІАТОМНОГО РОЗПЛАВУ InPbGaSn

Роман Овсяник, Олександр Галяткін, Роман Білик, Степан Мудрий
Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Кирила і Мефодія 8, 79005, м. Львів,
roman_ovsyanyk@ukr.net

Вивчення поверхневих властивостей металічних розплавів на сьогодні залишається актуальним завданням як з прикладної, так і фундаментальної точок зору, оскільки відомості про процеси, які відбуваються на міжфазних ділянках, необхідні для розвитку як існуючих теорій фізики конденсованого стану зокрема багатокомпонентних систем, так і для встановлення фізико-хімічних основ нових технологічних процесів, пов'язаних зі створенням сучасних конструкційних матеріалів, тонкоплівкових елементів сучасної електроніки тощо. Все це веде до зростання вимог до властивостей цих систем, і визначають практичне використання таких матеріалів. Особливо це стосується досліджень поверхневих властивостей нових матеріалів таких як середньоентропійні та високоентропійні системи.

У даній роботі досліджено температурну залежність поверхневого натягу та густини чотирикомпонентної еквіатомної системи InPbGaSn . Політерми коефіцієнта поверхневого натягу розплаву було отримано з використанням методу лежачої краплі. Також було одержано політерми густини. В результаті аналізу результатів з'ясовано, що визначальний вплив на значення коефіцієнта поверхневого натягу і густини у досліджуваному рідкому розплаві $\text{In}_{25}\text{Pb}_{25}\text{Ga}_{25}\text{Sn}_{25}$ має свинець.



ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІТЕТРАФТОРЕТИЛЕНУ ТА ГРАФІТИЗОВАНОГО ПИЛУ

**Наталія Бондарь, Анна-Марія Томіна, Ольга Рижко,
Валерія Наголенко**

Дніпровський державний технічний університет, вул. Дніпробудівська 2^а,
м. Кам'янське, Дніпропетровська обл., e-mail: bondar_np@ukr.net

Політетрафторетилен (фторопласт Ф4) цінують за низьке значення коефіцієнта тертя та високі хімічну стійкість, міцність, діелектричні властивості, які не втрачає навіть за високих температур [1, с. 23]. Дефіцит даного матеріалу обумовлює високу ціну на нього. Через це політетрафторетилен майже не використовують у чистому вигляді, а додають до нього різні домішки. Графітизований пил є відходом металургійного виробництва, тому його використання як наповнювача у деталях з політетрафторетиленом дозволить знизити ціну на них та збільшити екологічність підприємств, побічним продуктом виробництва яких є графітизований пил.

Метою роботи є дослідити, як наповнення графітизованим пилом впливає на механічні властивості композитів з політетрафторетиленовою матрицею.

Об'єкт дослідження: композити на основі політетрафторетилену та графітизованого пилу.

Предмет дослідження: механічні властивості композитів на основі фторопласту Ф4 та графітизованого пилу.

Експериментальні дослідження виконані із застосуванням сучасних методів фізичних та механічних випробувань, що забезпечує достовірність отриманих результатів. Для виготовлення зразків використано лабораторний змішувач з обертальним електромагнітним полем та гідравлічний настільний прес ТУ 10003 TORIN. Зважування зразків для дослідів проведено на вагах ВЛР-200, оцінка стирання – на машині HECKERT, вивчення поверхонь тертя – на мікроскопі БІОЛАМ-М з камерою TREK (DCM1300, роздільна здатність 1,3 мегапікселів).

В результаті дослідження було встановлено, що використання вмісту 10 % графітизованого пилу при виготовленні композиту призводить до зниження собівартості матеріалів на 10 % у порівнянні з чистим фторопластом Ф4. Такі результати мають велике значення в умовах масового виробництва деталей.

Випробування показника абразивного стирання, виявило зменшення з 2,974 мм³/м до 2,539 мм³/м при використанні 10 % графітизованого пилу. Це сприяє значному збільшенню терміну служби деталей, що знизить частоту їх заміни та також дозволить знизити витрати виробництва.

[1] Джурка Г.Ф., Полімерні композиційні матеріали - Полтава, 2008 – 58 с.



ELECTRICAL RESISTANCE TEMPERATURE DEPENDENCES FEATURES OF $\text{Bi}_{88.08}\text{Mn}_{11.92}$ IN MAGNETIC FIELDS

Valerii Yarovyi¹, Andrii Terekhov^{1,2}, Krzysztof Rogacki², Andrii Solovjov^{1,2}

¹B.Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering of NAS of
Ukraine, 47 Nauky Ave., Kharkiv, 61103, Ukraine

²Institute for Low Temperatures and Structure Research, Polish Academy of
Sciences, P.O. Box 1410, 50-950 Wroclaw, Poland

e-mail: yarovyi@ilt.kharkov.ua

Bi-Mn solid solutions are interesting due to their magnetic properties. It should be noted that electrical transport in these materials has hardly been investigated, but its behaviour may be as interesting as magnetic properties. Research by our group have shown that the compound $\text{Bi}_{95.69}\text{Mn}_{3.69}\text{Fe}_{0.62}$ with a small amount of manganese has colossal positive anisotropic magnetoresistance and anomalies in the temperature dependence of electric resistance $R(T)$ in magnetic field [1,2]. The purpose of this work is to show what happens to $R(T)$ in a magnetic field if the manganese content is increased. The features of the temperature dependences of the $\text{Bi}_{88.08}\text{Mn}_{11.92}$ compound in magnetic fields up to 90 kOe were examined.

An investigation of textured, polycrystalline $\text{Bi}_{88.08}\text{Mn}_{11.92}$ containing two phases: the bismuth matrix and magnetic inclusions of the α -BiMn phase was carried out. Measurements of $R(T)$ for $\mathbf{H} // \mathbf{I}$ and $\mathbf{H} \perp \mathbf{I}$ have been performed in the temperature range 2÷300 K and magnetic fields up to 90 kOe. In the absence of an external magnetic field, the metallic behaviour of $R(T)$ is observed, which is manifested by a decrease in resistance with decreasing temperature. In a magnetic field, the temperature dependence of the electrical resistivity changes significantly. The maxima appear on $R(T)$. The temperatures of maxima T_{max} shift towards higher temperatures with increasing field. Temperature dependences of magnetoresistance $MR = ([R(H) - R(0)]/R(0)) * 100 \%$ for different magnetic fields have been plotted. It was found that the magnetoresistance increases with growing magnetic field and reaches a value of about 3290 % and 390 % in a magnetic field of 90 kE for $\mathbf{H} \perp \mathbf{I}$ and $\mathbf{H} // \mathbf{I}$, respectively. It was found that the temperature dependency of the electrical resistance without a magnetic field for the solid solution of $\text{Bi}_{88.08}\text{Mn}_{11.92}$ differs significantly from that for pure bismuth and the compound $\text{Bi}_{95.69}\text{Mn}_{3.69}\text{Fe}_{0.62}$ with a lower manganese content. It is suggested that the peculiarities temperature dependences behavior of the electrical resistance $R(T)$ in $\text{Bi}_{88.08}\text{Mn}_{11.92}$ without magnetic field and in the one, are largely due to the influence of the internal magnetism of the α BiMn phase and can be explained within the framework of the multiband theory.

- [1] A.V. Terekhov, A.L. Solovjov, A. I. Prokhvatilov, A. I., V.V. Meleshko, I.V. Zolocheskii, J. Cwik, A. Los, A.D. Shevchenko, O.M. Ivasishin, and Z.D. Kovalyuk, East European Journal of Physics, 4, 12 (2017). DOI:10.26565/2312-4334-2017-4-02
- [2] A.V. Terekhov, K. Rogacki, A.L. Solovjov, A N. Bludov, A.I. Prokhvatilov, V.V. Meleshko, I.V. Zolocheskii, E.V. Khristenko, J. Cwik, A. Los, A.D. Shevchenko, Z.D. Kovalyuk, and O.M. Ivasishin, Low Temperature Physics, 44, 1153 (2018). <https://doi.org/10.1063/1.5060969>



INVESTIGATION OF THE INTRINSIC ABSORPTION EDGE IN BULK HEXAGONAL BORON NITRIDE CRYSTAL

**Vladyslav Vasil'ev¹, Borys Turko¹, Bohdan Sadovyi^{1,2}, Petro Sadovyi²,
Andriy Nikolenko³, Ihor Petrusha⁴, Volodymyr Kapustianyk¹**

¹Ivan Franko National University of Lviv, 50, Drahomanova Str., Lviv, 79005, Ukraine,

²Institute of High Pressure Physics PAS, 29/37, Sokolowska Str., 01-142, Warsaw, Poland,

³V. E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, 41, Nauky Ave., Kyiv, 03028, Ukraine,

⁴V. Bakul Institute for Superhard Materials of the NAS of Ukraine, 2, Avtozavodska str., Kyiv, 04074, Ukraine,
Vladyslav.Vasilyev@lnu.edu.ua

Hexagonal boron nitride (h-BN) is a two-dimensional material with the following unique properties: resistance to high temperatures and chemical attack, wide band gap, large exciton binding energy on the order of 0.7 eV, high thermal conductivity, and high lubricity. h-BN has great potential for technological applications, including oxidant-resistant coating, insulating layers, deep ultraviolet (UV) sources, protective coating, heat dissipation, photocatalysis, building block for two-dimensional 2D heterostructures, sensor development, energy storage, drug delivery, tissue engineering, solid-state neutron detectors, terahertz communication systems, quantum technologies. Inspired by these promising attributes, research on the properties of h-BN and the development of large-area bulk and thin-film growth techniques has dramatically expanded. Bulk crystals of h-BN can be obtained by low temperature synthesis, high pressure high temperature (HPHT), atmospheric pressure high temperature (APHT) and polymer derived ceramic (PDC) methods.

We have grown h-BN using a HPHT process (lower than 3 GPa) and nickel boron as a solvent. As-grown h-BN, which is composed of a number of aggregated single crystals. Each single crystal displays a clear triangular crystal habit on the top. The average size of single crystals shown in this example is 0.03 mm², and their thickness ranges from 10 to 20 μm. The crystal structure and absorption spectra of this sample have been investigated. For experimental h-BN sample, the (002) and (004) peaks were present only in the X-ray diffraction spectrum. No reflection was observed from cubic BN and wurtzite BN.

We have studied the temperature variation of the intrinsic absorption edge in h-BN bulk sample in the temperature range 293–340 K. Based on the room temperature optical absorption spectrum of h-BN, we obtained an approximate indirect optical bandgap $E_g \approx 5.64$ eV. A value of dE_g/dT of -1.4 meV/K of h-BN bulk sample has been reported. We have observed that the intrinsic absorption edge in such flakes is described by Urbach's rule with parameters: $E_0 \approx 6.1$ eV, $\sigma_0 = 0.49$; $\omega_{ph} = 298$ cm⁻¹.

This work was done due to the supports of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Project No: 0123U101880) and Long-Term Funding by the Polish Academy of Sciences and U. S. National Academy of Sciences (Project No: PAN.BFB.S.BWZ.369.022.2023).



ВПЛИВ КОБАЛЬТУ НА ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ОКСИДУ ЦИНКУ

О.І. Віра, Ю.І. Еліяшевський, В.Б. Капустяник, Б.І. Турко

Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Кирила і
Мефодія 8, м. Львів, 79005,
e-mail: olena.vira@lnu.edu.ua

Широкозонні напівпровідники, до яких належить ZnO з величиною забороненої зони 3.37eV, забезпечують високу якість матеріалам, оскільки можуть витримувати сильні електричні поля, підтримувати вищі напруги та працювати на більш високих частотах. Легування ZnO перехідними металами дає змогу модифікувати діелектричні властивості матеріалу, в результаті чого матеріал може бути застосований як у напівпровідникових, так і в оптоелектронних приладах [1,2]. А внесення в ZnO домішки Co у тонкій плівці призводить до появи сегнетоелектричної фази, при цьому композит ZnO:Co володіє мультифероїчними властивостями.[3].

Досліджувані зразки ZnO:Co отримувались методом високочастотного магнетронного напилення з різною концентрацією домішки Co (4-10%) на скляну підкладку з нанесеним ІТО-електродом. Для отримання інформації про топологію поверхні ZnO:Co використано атомно-силовий мікроскоп Solver P47 у напівконтактному режимі. Дослідження електричних властивостей ZnO:Co здійснено у діапазоні частот 1,2кГц-1МГц вимірювального електричного поля та у діапазоні температур 120-310К.

Методом атомно-силової мікроскопії проведено дослідження топології поверхні ZnO:Co. Виявлено, що збільшення концентрації кобальту впливає на структурні особливості плівок ZnO:Co, а саме збільшення концентрації хрому призводить до росту розмірів кристалітів. Така зміна ступеня наноструктурованості плівок впливає на динаміку поляризації структурних елементів досліджуваного матеріалу. Отримано температурні та частотні залежності діелектричної проникності, які показали значну дисперсію діелектричних параметрів плівок пов'язану з існуванням двох релаксаційних процесів, що різною мірою проявляються при зміні концентрації кобальту у плівках ZnO:Co. Проведено аналіз діаграм Коула-Коула та отриманих діелектричних параметрів у досліджуваному температурному діапазоні для чотирьох концентрацій Co: 4%, 6%, 8% та 10%. Здійснено аналіз отриманих дисперсійних спектрів пов'язаних з високочастотного та низькочастотного релаксаційного процесу.

[1] Asaithambi S.; Sakthivel P.; Karuppaiah M.; Balamurugan K.; Yuvakkumar R.; Thambidurai M.; Ravi G. Synthesis and characterization of various transition metals doped SnO₂MoS₂ composites for supercapacitor and photocatalytic applications. *J. Alloys Compd.* 2021, 853, 157060.

[2] Devesa S.; Rooney A. P.; Gracia M. P.; Cooper D.; Costa L. C. Williamson-hall analysis in estimation of crystallite size and lattice strain in Bi_{1-x}Fe_xBi_{1-x}Fe_x prepared by the sol-gel method. *Mater. Sci. Eng. B.* 2021, 263, 114830

[3] D. Y. Li, Y. J. Zeng, D. Batuk, L. M. C. Pereira, Z. Z. Ye, C. Fleischmann, Relaxor Ferroelectricity and Magnetoelectric Coupling in ZnO-Co Nanocomposite, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2014, 6, 4737–4742



АНАЛІЗ ТЕМПЕРАТУРНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Юлія Горбатенко, В. Саган, О. Романцова

Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН
України, пр-т Науки, 47, Харків, 61103, Україна
horbatenko@ilt.kharkov.ua

Проведено аналіз температурних залежностей теплопровідності різних наноструктурованих композиційних матеріалів – багат шарового графенового композиту з різним ступенем заповнення, нанозернистих композитів, а також композитів, допованих різнорідними наночастинками; а також напівпровідникових матеріалів, що мають структуру надґратки та деяких наноструктурованих матеріалів, зокрема, нанострічок та нанодротів.

Показано, що температурні залежності теплопровідності цих матеріалів демонструють як кристалоподібну (багат шарові графенові нанокompозити, нанозернисті композити $\text{Bi}_{0.5}\text{Sb}_{1.5}\text{Te}_3$, $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$, нанодроти), так і склоподібну поведінку теплопровідності (тонкі плівки PbTe , PbSe та їх нанокompозити, речовини з надґратковою структурою, нанострічки), що може бути представлено у вигляді суми двох внесків – квазічастинкового та хвильового [1]:

$$\kappa = \kappa_1 + \kappa_2. \quad (1)$$

Показано, що вираз (1) у випадку кристалоподібної поведінки теплопровідності набуває наступного вигляду:

$$\kappa = A/T + B, \quad (2)$$

в той час як у випадку склоподібної поведінки теплопровідності маємо:

$$\kappa(T) = \kappa_{pl.} + \kappa_0 \cdot \exp(-E/T), \quad (3)$$

що, в свою чергу, є високотемпературною апроксимацією теплопровідності. Вираз (3) також є сумою двох внесків, де перший внесок, пов'язаний з наявністю плато в теплопровідності $\kappa_{pl.}$, а другий внесок представлений експоненціальною залежністю з двома параметрами підгонки – передекспоненціальним множником κ_0 , і характеристичною енергією домінуючих збуджень E , які приймають участь в теплопереносі.

[1] A. I. Krivchikov, Y. V. Horbatenko, O. A. Korolyuk, et al. *Materialia*, 32, 101944 (2023).



СТРУКТУРА ТА СЦИНТИЛЯЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИСТАЛІВ Cs_2HfCl_6 ТА Cs_2ZrCl_6

Володимир Коломієць, Володимир Капустяник

Львівський національний університет імені Івана Франка,

вул. Драгоманова, 50, м. Львів, 79005

e-mail: volodja.kolomiets@gmail.com

Розробка нових сцинтиляційних матеріалів, таких як Cs_2HfCl_6 та Cs_2ZrCl_6 , є актуальною задачею, оскільки вони вважаються перспективними для застосувань у детекторах іонізаційного випромінювання завдяки високій енергетичній роздільній здатності. Проте, наявна інформація про фізичні властивості цих кристалів є неповною та фрагментарною, особливо стосовно кристалографічної інформації та даних про фазові зміни у структурі кристалів зі зміною температури.

У цьому дослідженні основна увага була сконцентрована на вивченні кристалічної структури та сцинтиляційних властивостей кристалів Cs_2HfCl_6 та Cs_2ZrCl_6 в широкому температурному діапазоні від 9 до 300 К з використанням методів рентгенівської дифракції та вимірювання сцинтиляційних характеристик. Отримані результати не лише підтвердили кубічну структуру (просторова група $Fm\bar{3}m$) обох сцинтиляторів у цілому вказаному діапазоні температур, але й засвідчили, що Cs_2ZrCl_6 має вищий світловий вихід (33900 фотонів/МеВ) та кращу енергетичну роздільну здатність (5,3 %) порівняно з Cs_2HfCl_6 (24800 фотонів/МеВ і 4,5 % відповідно). Проведені дослідження також виявили нетривіальні температурні залежності світлового виходу, зокрема його підвищення при нагріванні в діапазоні 125–150 К. При вимірюванні кривих загасання сцинтиляцій спостерігалася складна кінетика, зумовлена процесами сповільненої рекомбінації. Відчутне підвищення сцинтиляційного відгуку при нагріванні є проявом процесу негативного теплового гасіння, що пояснюється термічною активацією проміжних пасток, що приводить до заселення збуджених станів.

Отримані результати узгоджуються і попередніми теоретичними та експериментальними дослідженнями.

Робота виконана завдяки підтримці Міністерства освіти і науки України.



HYPERSPECTRAL IMAGING OF AMBER-LIKE MATERIALS

Maksym Fedorchuk, Valentyn Krivtsov

Rivne State University of Humanities, 12 Stepan Bandera St., Rivne, 33028,
Ukraine, valentyn.krivtsov@rshu.edu.ua

Hyperspectral imaging is an amount of data that contains spectral information about an object across various spectral channels. Compared to traditional color images, which have three channels (red, green, blue), hyperspectral images can contain hundreds or even thousands of spectral channels. Each spectral channel corresponds to a specific portion of the electromagnetic spectrum. It allows to obtain detailed information about the spectral characteristics of objects. Specialized devices known as hyperspectral cameras are typically used to get hyperspectral images. These devices can capture reflected or emitted light across multiple spectral ranges including visible, infrared (near, medium, far), ultraviolet and other ranges. The obtained hyperspectral images are three-dimensional matrices, where two spatial coordinates correspond to the pixel positions in the image, and the third coordinate corresponds to the spectral channel. Each pixel in the matrix contains spectral information about the corresponding object in the image. Such images have significant advantages over traditional spectra and can become a useful tool investigation and analysis of various substances.

In thesis the characteristics of Rivne region amber have been studied aimed to identify and compare structural features of natural Rivne, Baltic and synthetic amber. A method for identifying amber and amber-like materials based on their structural analysis using hyperspectral images was introduced. It was shown that samples of synthetic amber (pressed, thermally treated, fused), which outwardly resemble natural amber, differ in their structure. Though they consist of a large number of monomeric units, they are not 100% polymers. Their structure is a cross-link macromolecular grid, the pores of which (free volumes) are filled with components of the molecular structure (for example, mono- and sesquiterpenes). The presence of metal ions and C=O bonds affect the color of amber materials, their density and hardness depend on the degree of polymerization. Amber complex chemical structure can be called supramolecular [1].

Hyperspectral images investigation of amber-like materials is extremely important for revealing information about the composition of the substance, as even an experienced person may not distinguish natural amber from its successful imitations without special equipment. Not only size, shape, and color determine the value of amber, but also factors such as transparency, spectral purity, and light permeability. It is known that solidified resin may vary from a completely transparent appearance, resembling ice, to opaque depending on the degree of transparency. Spectroscopic methods have proved that in semi-transparent samples of Rivne amber pores (bubbles) occupy up to 30% of the stone volume and in opaque ones they take up to 50%. Amber-like materials hyperspectral images analytical database creation will allow addressing issues of their identification, origin diagnostics, presence/absence of imitations, and enhancement of the fossil resin based on the color parameter.

[1] B. Kosmowska-Ceranowicz. Succinite and some other fossil resins in Poland and Europe (deposits, finds, features and differences in IRS), Estudios del Museo de ciencias naturales de Alava, (1999), V. 14, N 2, p. 73–117.



THE INFLUENCE OF CARBON NANOSPHERES ON THE ELECTRICAL RESISTIVITY OF NANOCOMPOSITE $\text{Sn}_{96.5}\text{Ag}_3\text{Cu}_{0.5}$ AND $\text{Sn}_{95.5}\text{Ag}_{3.8}\text{Cu}_{0.7}$ ALLOYS

Viktor Poverzhuk

Department of Metal Physics, Ivan Franko National University of Lviv,
Kyrylo and Mefodiy Str., 8, 79005 Lviv, Ukraine
e-mail: viktor.poverzhuk@lnu.edu.ua

The application fields of industrial Pb–Sn solders renowned for their excellent characteristics such as low melting temperature, good wettability, and low cost are rapidly reducing due to toxicity of lead. Among the numerous lead-free alloys proposed to replace traditional Pb–Sn solders in microelectronics, the leading place is occupied by commercial ternary Sn–Ag–Cu (SAC) alloys of eutectic or neareutectic compositions, in particular, SAC305 ($\text{Sn}_{96.5}\text{Ag}_3\text{Cu}_{0.5}$ wt.%) and SAC387 ($\text{Sn}_{95.5}\text{Ag}_{3.8}\text{Cu}_{0.7}$ wt.%). Among the methods of improving the properties of such solders is the introduction of a base into the matrix material of nanoparticles, whose content control leads to improvement physicochemical parameters. Such nanoimpurities can be metals, rare earth elements, ceramics and carbon structures. They can promote to a lower diffusion coefficient, which slows the growth of intermetallic layers, and improves mechanical properties. In this regard, it is important to investigate the electrophysical properties of such nanocomposites.

An influence of minor admixtures of carbon nanospheres (0.05 wt.%) on electrical resistivity of ternary $\text{Sn}_{96.5}\text{Ag}_3\text{Cu}_{0.5}$ and $\text{Sn}_{95.5}\text{Ag}_{3.8}\text{Cu}_{0.7}$ alloys, was measured using a four-probe method over a wide temperature range between the room and melting points. Carbon nanospheres (CNS) were obtained by electrical discharge method from diesel fuel, cyclohexane, and aviation kerosene. The matrix samples were produced by planar flow casting technique in the form of thin ribbons.

The hysteresis of temperature dependencies of the electrical resistivity in the melting-solidification range is due to the non-equilibrium solidification, when melting and solidification cannot be considered as completely reversible processes. An increase in the carbon nanotubes amount causes an increase in resistivity, which depends on the CNSs parameters. Generally, addition of CNS to the $\text{Sn}_{96.5}\text{Ag}_3\text{Cu}_{0.5}$ alloy in the investigated concentration range has no detrimental effect on the indicated electrical properties and consequently should not have negative influence on functional properties of such solder material. At the same time, although the addition of CNS does not affect the electrical resistivity significantly, this influence cannot be neglected in the process of industrial production of the lead-free solders.

Acknowledgments

The work was supported by Ministry of Education and Science of Ukraine, projects nos. 0122U002643, 0122U001521.



ЕВОЛЮЦІЯ СТРУКТУРИ АМОРФНИХ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Zr-Cu-Al У ПРОЦЕСІ ЇХНЬОГО ФОРМУВАННЯ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕННЯ

Назар Попільовський, Назар Сембратович

Львівський національний університет імені Івана Франка,
кафедра фізики металів,
вул. Кирила і Мефодія 8, 79005, Львів, Україна
e-mail: nazar.popilovskii@lnu.edu.ua

Інтерес до вивчення аморфних систем і металевих стекел викликаний їх унікальними властивостями та потенціалом для практичного застосування. Через відсутність дальнього порядку в розташуванні структурних частинок ці системи проявляють ряд цікавих властивостей порівняно з кристалічними тілами. Наприклад, металеві стекла мають високу міцність, зносостійкість, корозійну стійкість, термооптичні властивості і т. п.

Цікавим об'єктом дослідження у фізиці та матеріалознавстві є потрійні аморфні системи такі як Zr-Cu-Al. Їх унікальні властивості та потенціал для практичного застосування роблять їх важливим предметом досліджень та розробок у сучасній науці, зокрема, в аерокосмічній промисловості для виготовлення легких та міцних компонентів, в медичній промисловості для виробництва імплантатів та хірургічних інструментів, а також в транспортній промисловості для виготовлення деталей, стійких до зношування та корозії.

Однією з основних особливостей системи Zr-Cu-Al є її здатність до утворення аморфної структури в широкому діапазоні концентрацій. Це означає, що в системі з різними співвідношеннями Zr, Cu та Al можна отримати аморфні сплави. Для більш повного вивчення структури таких систем на мікро- і нанорівні експериментальні дослідження доцільно поєднувати з результатами комп'ютерного моделювання, що дозволить глибше зрозуміти специфіку формування внутрішньої будови і дозволить керувати властивостями цих матеріалів.

У даній роботі методом молекулярно-динамічного моделювання було вивчено процес спікання аморфних наночастинок системи Zr-Cu-Al. Для аналізу атомної структури наночастинок після спікання використали парціальні парні кореляційні функції та функції розподілу координаційних чисел. В результаті аналізу основних структурних параметрів, які отримали з використанням вказаних функцій встановили відмінності атомного складу та структури об'єму та поверхні наночастинок.

Робота виконана за підтримки Національного фонду України (проект № 2022.01/0171)



V(T) PHASE DIAGRAMS OF FREONS OF THE ETHANE SERIES

V.V. Sagan, V.A. Konstantinov

B. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering of the
National Academy of Sciences of Ukraine
47 Nauky Ave., Kharkiv 61103, Ukraine
e-mail: sagan@ilt.kharkov.ua

In the present work, based on the literature and experimental data obtained directly from the experiment, the construction of phase $V(T)$ diagrams for ethane series fluorocarbons was performed for the first time. The following representatives of this class of substances, which belong to a large group of so-called «plastic» crystals, were chosen as objects of study: hexafluoroethane - C_2F_6 [1], 1,1,2,2 - tetrafluoroethane - $C_2H_2F_4$ (freon F-134) and 1,1-difluoroethane - $C_2H_4F_2$ (freon F-152a) [2].

A distinctive feature of ethane series freons is the presence in them of a wide range of phases that differ in the nature of translational, orientational and conformational ordering. In particular, a high-temperature phase transition to orientationally disordered (OD) – «plastic», bcc symmetry ($Im3m$) with $Z = 2$ molecules per cell, phase. This phase has high plasticity, and its melting occurs at anomalously low values of enthalpy and entropy. Violation of the orientational order is possible for most of these compounds due to the «pseudospherical» shape of the molecules.

The importance of constructing these diagrams lies in the fact that they provide complete information about the presence and number of phases, regions of phase coexistence, phase transitions, and also show that, if the conditions of isochoricity ($V = \text{const}$) are met, the region of existence of the OD phase increases and the temperature shifts melting to the region of higher temperatures with an increase in the density of the test sample.

[1] V.A. Konstantinov, V.P. Revyakin and V.V. Sagan, *Low Temp. Phys.* 33, 1048 (2007).

[2] V.A. Konstantinov, A.I. Krivchikov, A.V. Karachevtseva, V.V. Sagan, *Solid State Communications*. V. 329, 114241 (2021).



МАГНІТНІ ТОНКІ ПЛІВКИ НА ОСНОВІ КОБАЛЬТУ

Назар Сембратович, Юлія Никируй, Микола Соловійов

Львівський національний університет імені Івана Франка, Кафедра фізики металів, вулиця Кирила і Мефодія, 8, Львів, 79005, Україна

E-mail: nasarsem@gmail.com

Більшість процесів, які забезпечують роботу сучасного обладнання, є автоматизованими, а отже безпосередньо людиною не контролюються. Цю функцію перенесено на сенсори і датчики, які реєструють різноманітні сигнали та їх зміну, чи то зміна температури, електричного струму, чи магнітного поля. Одним із видів таких датчиків є магнітні сенсори, базовими елементами яких є тонкі феромагнітні плівки чутливі до змін магнітного поля [1, 2]. Аморфні тонкі плівки на основі кобальту досліджуються, зокрема, і для застосування в магнітопружних датчиках, особливо для мініатюрних пристроїв, отриманих за технологією тонких плівок. З огляду на це наше дослідження сфокусоване на процесах синтезу тонких аморфних плівок на основі кобальту та вивченні їх властивостей.

Метод магнетронного розпилення було використано для виготовлення тонких плівок на основі кобальту. В якості матеріалу мішені було використано аморфну стрічку $\text{Co}_{70}\text{Fe}_3\text{Mn}_{3.5}\text{Mo}_{1.5}\text{Si}_{11}\text{B}_{11}$. Напилювання плівки проводили на підкладку зі скла в атмосфері аргону. Час напилювання (τ) змінювали в межах до 60 хв. Товщину напилених плівок (d) оцінювали інтерференційним методом за допомогою інтерферометра МІО-1. Прилад дає можливість зробити візуальну оцінку якості поверхні, а також виміряти висоту нерівностей поверхні в діапазоні до 0,8 мкм. Товщина отриманих тонких плівок, визначена цим методом, становила $d \approx 80$ нм та $d \approx 130$ нм для $\tau = 30$ хв та 60 хв, відповідно. За допомогою сканувального зондового мікроскопа Solver P47-PRO було досліджено топографію поверхні плівок, яка характеризується нанозернистою структурою з середнім розміром зерен 8-10 нм. Також встановлено, що шорсткість поверхні становить ~ 8 нм. Метод рентгенівської дифракції було використано для дослідження структури тонких плівок. Згідно з результатами досліджень тонкі плівки характеризуються аморфною будовою.

- [1] Ansar Masood, P. McCloskey, Cian Ó. Mathúna, and S. Kulkarni Co-based amorphous thin films on silicon with soft magnetic properties *AIP Advances* 8, 056109 (2018); doi: 10.1063/1.5007733
- [2] F. Jin, J. Li, L. Zhou, J. Peng and H. Chen, "Simulation of Giant Magnetic-Impedance Effect in Co-Based Amorphous Films With Demagnetizing Field," in *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 51, no. 11, pp. 1-4, Nov. 2015, Art no. 7100404, doi: 10.1109/TMAG.2015.2437816.



ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГРАФІТОПЛАСТУ

**Анна-Марія Томіна, Катерина Єрьоміна, Олександр Єрьоменко,
Вікторія Мізіна**

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське,
вул. Дніпробудівська, 2, an.mtomina@gmail.com

Тенденція заміни традиційних металів на полімерні композиційні матеріали (ПКМ) у підшипникових вузлах тертя набуває все більшого попиту, оскільки їх використання у різноманітній техніці збільшує ресурс роботи останньої до 10 разів. Проте, значний вплив на трибологічну поведінку та довговічність роботи вузла тертя з ПКМ чинять швидкість ковзання та навантаження. Зважаючи на це досліджено вплив зазначених параметрів на інтенсивність лінійного зношування та коефіцієнт тертя розробленого ПКМ на основі поліорганосилоксану, що характеризується високими показниками хімічних властивостей. Як наповнювач обрано прихованокристалічний ливарний графіт у кількості 50 мас.%, який відрізняється високою самозмащувальною здатністю. Дослідження трибологічних властивостей ПКМ здійснювали на машині тертя СМЦ-2 за схемою «диск-колодка». Результати досліджень наведено у табл.

Таблиця – Трибологічні властивості графітопласту при різних умовах експлуатації

Режим тертя		Інтенсивність лінійного зношування, $I_h \cdot 10^{-9}$	Коефіцієнт тертя, f
v , м/с	P , МПа		
1,0	0,5	5,67	0,70
	1,0	7,80	0,39
	1,5	7,65	0,21
1,5	0,5	7,33	0,58
	1,0	6,92	0,37
	1,5	7,37	0,24
2,0	0,5	7,07	0,32
	1,0	7,16	0,26
	1,5	7,21	0,24

Із табл. видно, що розроблений ПКМ характеризується високими показниками трибологічних властивостей, навіть при високих швидкостях і навантаженнях. Це обумовлено тим, що в процесі тертя на контртілі утворюється стабільний антифрикційний шар, який відіграє роль «сухого змащувача», завдяки чому подальший процес тертя відбувається шляхом перенесення ПКМ на контртіло та знову на випробувальну деталь, через що спостерігається незначний знос та середній коефіцієнт тертя. Цікаво відзначити, що чим більше навантаження на дослідну деталь, тим меншим стає коефіцієнт тертя, що обумовлено пластичністю утвореної плівки перенесення. Для інтенсивності зношування не спостерігається чіткої залежності від швидкості ковзання чи навантаження, можна відзначити лише те, що цей показник змінюється на 40% у дослідному діапазоні режимів тертя. Зважаючи на це розроблений композит рекомендовано використовувати як антифрикційний заповнювач для підшипникових вузлів тертя.



КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ ШВИДКООХОЛОДЖЕНИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ

Тетяна Калініна, Антон Хлебніков, Ілля Гурін

Дніпровський державний технічний університет, вул. Дніпробудівська, 2,
Кам'янське 51900, kalinina_tv@ukr.net

Гартуванням з рідкого стану (ГРС) можна отримати сплави у різних структурних станах: пересичені тверді розчини, нерівноважні кристалічні фази, аморфні структури. Тип структури таких сплавів та їх властивості на пряму залежать від складу та швидкості ГРС. Швидкості охолодження (10^5 – 10^7 К/с) дозволяють отримувати аморфні металеві сплави (АМС), яким притаманні унікальні корозійні властивості. Огляд літературних даних показує, що серед АМС високими корозійними властивостями відзначаються сплави леговані хромом. Задачами цієї роботи було: по – перше, з'ясувати корозійні властивості АМС, який не містить хрому, а по – друге, дослідити вплив структури та умов отримання сплавів на їх корозійну стійкість (КС).

Вихідні сплави готувалися з чистих компонентів (Al, Ni, Cr, Y). Плавлення відбувалося у електровакуумній печі в алундових тиглях. Для дослідження були виготовлені сплави наступних складів: Al₈₇Y₈Ni₅, Al+5ваг.%Cr, Al+10ваг.%Cr. Зразки для корозійних іспитів готувалися двома методами: ГРС методом "пострілу", що дозволило отримати плівки товщиною 20 -70 мкм, та екструзією цих фольг у прутки діаметром 10 мм. Дослідження структури експериментальних сплавів проводили за допомогою рентгенографічного аналізу з реєстрацією дифракційних картин на дифрактометрі ДРОН-3 у монохроматизованому CuK_α випромінюванні. Іспити на загальну КС проводили за ГОСТом 9.017.74 при повному зануренні зразків у розчин 3%NaCl+0,1%Н₂O₂ та оцінювали за зміною маси зразків шляхом зважування на аналітичних важелях до і після іспитів. Якісну і кількісну оцінку корозійної стійкості проводили по десятибальній шкалі корозійної стійкості металів (ГОСТ 5272 – 50).

Структурними дослідженнями встановлено, що при швидкості ГРС 10^5 – 10^7 К/с у сплаві Al+5ваг.%Cr формується структура пересиченого твердого розчину вміст хрому в якому у 5 раз перевищує рівноважну розчинність. Збільшення вмісту хрому до 10ваг.% призводить до утворення у швидкоохолодженому сплаві структури тонкодисперсного конгломерату фаз, складовими якого являються збіднений твердий розчин та інтерметаліди Al₇Cr. Аналіз дифракційних картин фольг зі сплаву Al₈₇Y₈Ni₅ дозволив зробити висновок про аморфність його структури, оскільки профіль дифрактограми складається з декількох дифузних максимумів. Рентгенографічні дослідження структури зразків, отриманих екструзією швидкоохолоджених фольг зі сплавів Al+5% ваг. Cr, Al+10ваг.%Cr, показали, що основні морфологічні особливості мікроструктури швидкозагартованих сплавів зберігаються у прутках. Гаряче пресування призводить до розпаду сильнопересичених твердих розчинів з утворенням структури ультрадисперсного конгломерату збідненого твердого розчину та надлишкового алюмініду Al₇Cr. Дослідження корозійної стійкості показало, що швидкоохолоджені кристалічні сплави Al + 5ваг.%Cr, Al+10ваг.%Cr відносяться до групи знижено стійких сплавів (швидкість корозії в них склала відповідно 0,1432 та 0,1702 мм/рік), тоді як аморфний сплав Al₈₇Y₈Ni₅ відноситься до корозійно стійких сплавів (швидкість корозії – 0,055 мм/рік). У ході експерименту було також з'ясовано, що переробка фольг сплавів Al+5ваг.%Cr та Al+10ваг.%Cr у прутки шляхом екструзії дозволила отримати зразки, які можна віднести до дуже корозійно стійких (швидкість корозії 0,003 мм/рік та 0,023 мм/рік).



ВИРОЩУВАННЯ КРИСТАЛА Na_2SO_4 ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФРАЧЕРВОНИХ СПЕКТРІВ

Д. Павлишин, М.Я. Рудиш, А.О. Федорчук, Р.С. Брезвін, Л.Т. Карплюк
Львівський національний університет імені Івана Франка. вул. Кирила і
Мефодія 8, Львів, 79000, Україна
rudysh.myron@gmail.com

Кристал Na_2SO_4 належить до широкої групи діелектричних матеріалів A_2BX_4 де $\text{A} = \text{Li}, \text{Na}, \text{K}, \text{Rb}, \text{Cs}, \text{NH}_4$; $\text{B} = \text{S}, \text{Se}, \text{Be}, \text{Zn}$; $\text{X} = \text{O}, \text{F}, \text{Cl}$. Матеріали цієї групи характеризуються цікавими оптико-електронними властивостями. Раніше показано, що низка її представників володіють явищем інверсії знаку двопронезаломлення, яке є чутливим до дії зовнішніх одновісних та зміни температури [1], що має вагомим практичне значення.

Останнім часом сполука Na_2SO_4 приверте увагу дослідників через потенціал її практичного використання. Зокрема на основі Na_2SO_4 ведуться розробки суперконденсаторів [2] для ефективного накопичення та зберігання енергії. Активно вивчається властивості матеріалів покращених наночастинками [3]. Проводяться дослідження по вивченню люмінесцентних властивостей чистих, домішкових кристалів Na_2SO_4 та композитів різного складу [4].

На сьогодні більшість проведених у літературі досліджень сполуки Na_2SO_4 здійснено для полікристалічних зразків. Тому отримання якісних монокристалів великого розміру та проведення дослідження їхніх властивостей є актуальною задачею.

У роботі проведено вивчення умов росту кристалів Na_2SO_4 . Отримано якісні монокристали Na_2SO_4 методом вирощування з водного розчину. З'ясовано вплив умов росту на їхню стабільність. Досліджено структуру стабільних і нестабільних кристалів методом дифракції X-променів та визначено їхні кристалографічні параметри.

За допомогою інфрачервоного спектрофотометра UR-20 досліджено інфрачервоні спектри пропускання кристала Na_2SO_4 . Отримано інфрачервоні спектри в діапазоні частот від 400 до 2040 cm^{-1} . Проведено аналіз та ідентифікацію коливних смуг кристала беручи до уваги його симетрійні особливості. З метою підтвердження інтерпретації отриманих результатів нами додатково проведено порівняння отриманих результатів з розрахованими в цій роботі коливними частотами проведеними в рамках першопринципних методів на базі DFT.

Ця робота виконана за підтримки Міністерства освіти і науки України в рамках реалізації проекту молодих вчених «Нові моно-, полі-, нанокристалічні матеріали подвійного призначення для акумуляторів, накопичувачів водню, сенсорної техніки та електроніки» (НДР № 0123U100599).

- [1] М.Я. Рудиш, П.А. Щепанський, В.Й. Стадник, Р.С. Брезвін, Зонна структура та рефрактивні параметри кристалів з ізотропною точкою, Львів (2022), с.264.
[2] S. Zhu, Y. Sun, K. Li, Y. Dang, X. Guan, Journal of Power Sources, **597**, 234150 (2024).
[3] W. Huang, G. Zhou Journal of Molecular Liquids, **397**, 124157 (2024).
[4] F. Omer, Y. Abdulla, A. Noh, Brazilian Journal of Radiation Sciences, **12**, 1, e2322, (2024).



EFFECT OF THERMAL TREATMENT ON STRUCTURAL AND OPTICAL PROPERTIES OF Ge-RICH-HfO₂ FILMS

**D. Khomenkov¹, S. Ponomaryov², O. Melnichuk¹, L. Khomenkova^{2,3},
X. Portier⁴, J. Heitmann⁵, F. Gourbilleau⁴**

¹Mykola Gogol State University of Nizhyn, 2 Hrafska str., Nizhyn 16600, Ukraine (Ukraine)

²V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine (Ukraine)

³National university "Kyiv-Mohyla academy" (Ukraine)

⁴CIMAP, CEA, UMR CNRS 6252, ENSICAEN, Normandie Université, 14000 Caen, France (France)

⁵Institute for Applied Physics, TU Bergakademie, Freiberg, Germany (Germany)

Nowadays, hafnia materials attract considerable attention as dielectric alternatives to silicon oxide. Besides, due to higher refractive index, these materials can offer optical applications, for instance, as waveguides. However, low crystallization temperature of pure HfO₂ is a main drawback for wide applications of hafnia-based materials. To overcome this problem, doping of HfO₂ with silicon can be addressed. Recently, we reported on the role of Si impurities in the stabilisation of amorphous structure of the Si-doped HfO₂ films. Apart from this, the technological conditions allowed to form Si clusters and to achieve intense red emission from them were also reported.

In this work, we studied the impact of another isovalent dopant – germanium - on the structural and optical properties of HfO₂ films grown on silicon substrates by RF magnetron sputtering. The effect of deposition conditions, Ge content and annealing treatment were studied by means of spectroscopic ellipsometry, FTIR, Raman and Auger spectroscopy as well as by TEM methods. The Ge concentration in the films ranged from 0 to 30 at %. Subsequent annealing treatments at temperatures ranging from 300 to 1100 °C for durations of 30 to 900 s in a nitrogen atmosphere were applied.

Our results revealed that as-deposited films remained amorphous up to 600 °C, whereas the phase separation occurs upon heating to 750-800 °C. This phase separation led to the formation of pure Ge nanocrystallites and tetragonal HfO₂ grains. The temperature and duration initiated phase separation depend on the Ge content in the films. The higher Ge content, the lower annealing temperature can be applied. Further temperature increase (up to 900-950 °C) facilitated significant Ge out-diffusion from the film volume to its surface, followed by the evaporation of Ge from the films and formation of monoclinic HfO₂ phase. Importantly, no Si presence within the film volume or Ge segregation at the film/substrate interface was detected, indicating the stability of these films in direct contact with Si substrates. The mechanism of phase separation of such films will be discussed.



MECHANICAL CHARACTERIZATION OF $\text{Ag}_{6+x}(\text{P}_{1-x}\text{Ge}_x)\text{S}_5\text{I}$ AND $\text{Ag}_7(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)\text{S}_5\text{I}$ SINGLE CRYSTALS USING INSTRUMENTED INDENTATION WITH VICKERS INDENTER

I.O. Shender, V.V. Pechko, L.M. Suslikov, A.I. Pogodin, M.J. Filep, T.O. Malakhovska, O.P. Kokhan

Uzhhorod National University, Pidgirna St. 46, Uzhhorod 88000, Ukraine
e-mail: iryna.shender@uzhnu.edu.ua

The growth in demand for portable electronic devices leads to an increase in interest in solid-state conductors, the reason for such interest being the stability and high electrical conductivity of solid-state conductors [1, 2]. These materials are used in form individual compounds or solid solutions as single crystals or ceramics. In particular, phases with argyrodite structure are able to form solid solutions, which allows to controllably change their physico-chemical parameters and are promising superionic materials, since they have high ionic conductivity values [3-5].

This study presents the results of the analysis of the mechanical properties of single-crystal samples of solid solutions formed by isovalent $\text{Si}^{4+} \leftrightarrow \text{Ge}^{4+}$ $\text{Ag}_7(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)\text{S}_5\text{I}$ (0; 0.2; 0.4; 0.6; 0.8; 1) and heterovalent $\text{P}^{5+} \leftrightarrow \text{Ge}^{4+}$ $\text{Ag}_{6+x}(\text{P}_{1-x}\text{Ge}_x)\text{S}_5\text{I}$ (0; 0.25; 0.5; 0.75; 1) substitution. The studied materials were grown by the method of directional crystallization, and the obtained samples were polished to optical quality. A PMT-3 microhardness tester with a Vickers diamond indenter was used to assess microhardness, experimental data were obtained at room temperature and under loads from 0.05 to 2 N with indentation time - 10s.

The obtained results made it possible to reveal the dependence of microhardness H on the load P and the composition of the samples. It was found that the decrease in microhardness with an increase in the applied load indicates the presence of a "normal" indentation size effect in the studied solid solutions. Dimensional effects of hardness were analysed within the framework of the gradient theory of plasticity and the corresponding parameters of the model of geometrically necessary dislocations were determined.

- [1] S.Ohno, A.Banik, G.F. Dewald, M.A. Kraft, T.Krauskopf, N.Minafra, P.Tilll, M.Weiss, W. G. Zeier, Materials design of ionic conductors for solid state batteries. *Prog. Energy*, **2**, P. 022001, (2020).
- [2] C. Zhao, L. Liu, X. Qi, Y. Lu, F. Wu, J. Zhao, Y. Yu, Y.-S. Hu, L. Chen, Solid-state sodium batteries, *Adv. Energy Mater.* **8** 1703012, (2018).
- [3] T. Nilges, A. Pfitzner, A structural differentiation of quaternary copper argyrodites: structure – property relations of high temperature ion conductors, *Z. Kristallogr.* **220**, 281–294, (2005).
- [4] W.F. Kuhs, R.Nitsche, K.Scheunemann, The argyrodites – a new family of tetrahedrally close-packed structures, *Mat. Res. Bull*, **14**, P. 241–248, (1979).
- [5] M. Laqibi, B. Cros, S. Peytavin, M. Ribes, New silver superionic conductors $\text{Ag}_7\text{XY}_5\text{Z}$ (X = Si, Ge, Sn; Y = S, Se; Z = Cl, Br, I)-synthesis and electrical studies, *Solid State Ion.* **23**, P. 21–26, (1987).



ВПЛИВ СПІКАННЯ ПОРОШКІВ КУБІЧНОГО НІТРИДУ БОРУ НА ТВЕРДОСПЛАВНІЙ ПІДКЛАДЦІ НА РОЗПОДІЛ КОБАЛЬТУ В РОБОЧОМУ ШАРІ PCBN КОМПОЗИТУ

Андрій Пацик, Ярослав Романенко

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України
Київ, 04074, вул. Автозаводська, 2, pacik.andr@gmail.com, jarlo1@ukr.net

Надтверді PCBN композити - це, як правило, отримані спіканням в умовах високих тисків (3 - 8 ГПа) і температур (1600 - 2300 К) порошки кубічного нітриду бору (сBN) на підкладці з твердого сплаву системи WC-Co. Важливою властивістю двошарового композиту є міцний зв'язок на межі твердий сплав - спечений порошок сBN. У цій роботі досліджували зміну елементного складу композиту поблизу межі розділу твердий сплав - сBN. В експерименті використовувалися порошок сBN з розміром зерен 5-7 мкм та твердий сплав BK15. Спікання проводилося при температурі 1600 К, тиску 4,5 ГПа і тривалості 20 хвилин в кубічному апараті високого тиску. Отримані двошарові пластини, після полірування та шліфування мали товщину твердосплавної підкладки 2,3 мкм та робочого шару сBN 1 мкм. З використанням растрового електронного мікроскопа виробництва JEOL (Японія) серії JSM-IT500 проводили дослідження мікроструктури та розподіл елементів поблизу лінії розділу твердий сплав - сBN. На рис. 1 - приклад мікроструктури композиту.

Методом мікрорентгеноспектрального аналізу визначали наявність елементів В, С, N, O, Co, W у зразку на різних відстанях від лінії контакту твердого сплаву з PCBN шаром. Для дослідження було обрано 9 ділянок розміром 50-150 мкм. На рис. 2 наведено розподіл кобальту поблизу лінії розділу твердий сплав - сBN.

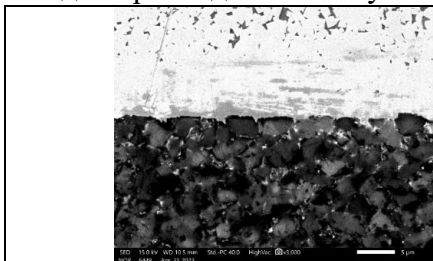


Рис.1 Мікроструктура PCBN композиту в зоні контакту твердий сплав – сBN

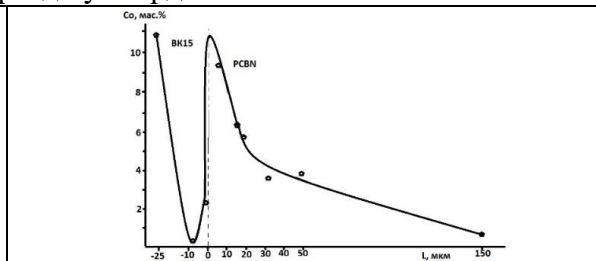


Рис. 2. Розподіл кобальту в зразку PCBN в залежності від відстані до границі сBN – BK

Висновки. **1.** Кобальт просочується з твердого сплаву в шар сBN на глибину до 50 мкм, концентрація кобальту біля кордону до 10 мас. %, на відстані 50 мкм від кордону ≈ 2 % мас., на відстані 500 мкм від кордону кількість кобальту в межах похибки вимірів, можливо, кобальт був нанесений на поверхню шару під час полірування. **2.** З боку твердого сплаву в зоні контакту збіднена кобальтом область шириною близько 50 мкм. На відстані 25 мкм від лінії контакту кількість кобальту в твердому сплаві ≈ 10 мас. % замість 15 %, на відстані 2 мкм від лінії контакту кобальту в твердому сплаві менше 1 мас. %. Це може бути причиною крихкості матеріалу в зоні контакту, утворення тріщин, відшарувань. **3.** Вольфрам (карбід вольфраму), як і кобальт, частково проникає за межу розділу в шар сBN, кількість вольфраму на відстані до 10 мкм від кордону ≈ 3 мас. %, на відстані 50 мкм - ≈ 1 %, на відстані 500 мкм у межах похибки вимірювань.



ТЕРМОДИНАМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ ОДЕРЖАННЯ ПОЛІКРИСТАЛІВ З РІЗНИМИ КОМБІНАЦІЯМИ ФАЗОВОГО СКЛАДУ ШИХТИ СИСТЕМИ cBN - Al (Ti, Co, Ni)

Ярослав Романенко, Андрій Пацик

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України
Київ, 04074, вул. Автозаводська, 2, jarlo1@ukr.net, pasik.andr@gmail.com

PcBN (полікристали на основі кубічного нітриду бору) композити - це матеріали, що мають високу твердість та стійкість до зношування. Виготовляють їх, зазвичай, у вигляді інструментів для різання (фрези, свердла, різці) для обробки сталей, чавунів або спецсплавів. PcBN композити формуються шляхом спікання під високим тиском та температурою порошків кубічного нітриду бору з додатковими компонентами у вихідній шихті. Додаткові компоненти (часто металеві) у вихідній шихті необхідні для утворення стійкого та міцного зв'язку між частинками cBN порошку [1, 2].

Термодинамічні розрахунки дозволяють визначити вірогідність та спрямованість основних хімічних реакцій між компонентами шихти під час спікання PcBN композитів. Розрахунки допоможуть спрогнозувати можливість утворення необхідних хімічних сполук в області термобаричних умов спікання (тиски до 8 ГПа, температури до 2300 К), і дозволить вибрати оптимальні параметри спікання для одержання PcBN композитів з необхідним фазовим складом у структурі композиту. Як металеву зв'язку у даній роботі використано: *алюміній, титан, кобальт, та нікель*.

Мета: визначити можливість досягнення необхідного фазового складу спеченого композиту з одержанням у зв'язці необхідних *нітридів*, та *боридів* після спікання.

За показник, який визначає стабільність системи та ймовірність протікання хімічної реакції між компонентами шихти, використано енергію Гіббса (ΔG_T^p) розрахованого за відомою формулою (1):

$$\Delta G_T^p = \Delta H_{298} - T\Delta S + p\Delta V \quad (1)$$

В цій роботі розрахунок енергії Гіббса проводився з урахуванням ентальпії, ентропії, теплоємності та молярного об'єму речовин. Діаграми стану подвійних систем використовувались для аналізу можливих хімічних реакцій.

Основні результати: розрахунки показали можливість проходження реакцій з утворенням сполук *нітридів* і *боридів титану*, а також *нітридів* і *боридів алюмінію*. Підвищення температури спікання зменшує ізобарно-ізотермічний потенціал. Для забезпечення повної хімічної взаємодії необхідно підвищувати робочі тиски. Найбільш термодинамічно стабільні сполуки за даних умов, це: CoAl, NiAl, Ti₃Al, TiNi, TiCo, AlN, AlB₂, AlB₁₂, TiN, TiB, TiB₂.

Термодинамічні розрахунки показали високу ймовірність утворення необхідних фаз в PCBN композитах за заданими термобаричними умовами, а для підвищення такої ймовірності рекомендується використовувати високі тиски.

- [1] Davim, J. P., Astakhov, V. P., & Davim, J. P. (2008). Tools (geometry and material) and tool wear. *Machining: fundamentals and recent advances*, 29-57.
- [2] Шульженко, А. А., Божко, С. А., Соколов, А. Н., Петруша, И. А., Беженарь, Н. П., & Игнатуша, А. И. (1993). Синтез, спекание и свойства кубического нитрида бора. Киев: Наукова думка.



SYNTHESIS, STRUCTURAL AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF CdSe_{1-x}S_x THIN FILMS

Andrii Kashuba, Hryhorii Ilchuk, Ihor Semkiv

Lviv Polytechnic National University, Bandera Str. 12, 79013 Lviv, Ukraine

CdSe_{1-x}S_x ($x = 0.3, 0.4$ and 0.6) thin films were deposited on quartz and silicon substrates by the method of high-frequency magnetron sputtering. Before the sputtering process, the chamber was evacuated. The gas pressure inside the chamber was 4×10^{-4} Pa. The sputtering was carried out at a pressure of argon (Ar) in the range of 1.0–1.3 Pa. The power of the HF magnetron was maintained at the level of 50 W. For heating the substrates, a high-temperature tungsten heater with a power of 300 W was used, and the temperature of the substrate at 453 K. A crystalline target of 99.99 % purity of CdSe_{0.75}S_{0.25}, CdSe_{0.5}S_{0.5} and CdSe_{0.25}S_{0.75} (thickness – 1 mm, diameter – 40 mm) was used. The target–substrate distance was 60 mm. The deposition time was 16 min for all samples. The start and end of the process were controlled by means of a movable shutter.

The chemical composition analysis and crystal structure refinement was examined with using X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) and X-ray diffraction (XRD) data. The composition ratios of the thin films obtained by using XRF method were found to be CdSe_{0.7}S_{0.3}, CdSe_{0.6}S_{0.4} and CdSe_{0.4}S_{0.6}. CdSe_{1-x}S_x thin films crystallizes in hexagonal structure (structure type – ZnO, space group $P6_3mc$ (No. 186)). The tendency to decreasing of unit-cell parameters with increasing S content was observed in CdSe_{1-x}S_x thin films (see Fig. 1). The anomaly reflexes from the planes with Miller indices (002), (101), (102) and (103) are observed. Crystallite size, strain, dislocation density and the texture coefficient were estimated from X-ray diffraction analysis for all samples. Based on the analysis of the texture coefficients obtained preferred orientation (103) for CdSe_{1-x}S_x thin films with $x < 0.5$ and (101) for sample with $x > 0.5$. Observed that the composition close to equilibrium (CdSe_{0.6}S_{0.4}) shows high ordering ($\sigma_{x=0.4} = 0.98$). Based on the surface morphology and EDX analysis was obtained that the thin film is formed from the desired elements and their distribution is even.

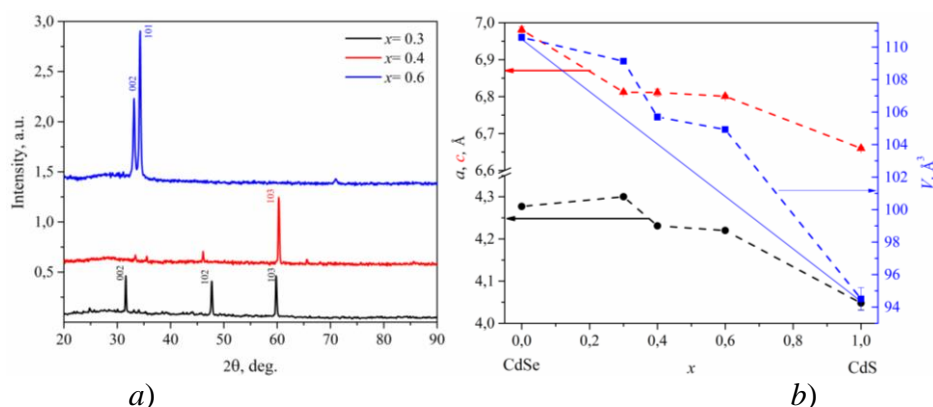


Fig. 1. XRD pattern (a) and concentration dependence of lattice parameters (b) of the CdSe_{1-x}S_x thin films.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by the National research foundation of Ukraine (project No 2022.01/0163).



PETG MATERIAL WITH ANTIBACTERIAL PROPERTIES FOR 3D PRINTING

Ostap Senkiv, Maksym Fedorchuk, Anastasiia Malynovska

Rivne State University of Humanities,

12, Stepan Bandera Str., 33028 Rivne, valentyn.krivtsov@rshu.edu.ua

The study considers a composite type of polymer system that combines structural properties for plastic 3D printing with the antibacterial properties of zinc oxide nanoparticles. It is known that polymer materials filled with bactericidal additives acquire antibacterial properties because the fillers they contain are highly active against a wide range of bacteria, including *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* etc. Adding nano-sized zinc oxide particles to polymer materials allows to reduce the number of bacteria that can grow on them, thereby decreasing the risk of infections. Application of such antibacterial polymer composite materials is beneficial: packaging of medical instruments, surface coatings in medical facilities and households, in the food industry, and in other areas where lessening the number of bacteria on surfaces is necessary.

The result of the study introduces composition, obtaining condition and new composite polymer materials based on PETG with antibacterial properties for 3D printing. The features of using the obtained polymer material in budget personal 3D printing were clarified, its main viscoelastic properties were investigated, and optimal 3D printing modes were determined. Antibacterial activity of the obtained composite polymer material PETG with ZnO nanoparticles was studied compared to the original PETG on a bacterial culture of *Staphylococcus aureus*. Possibility for improvement the antibacterial characteristics of the investigated materials was analyzed. It was established that the introduction of a bactericidal filler (nanostructured ZnO) into the PETG polymer matrix in an amount of 1 wt.% provides the entire polymer composite material with antibacterial properties.

Such filling does not deteriorate the mechanical properties of the investigated polymer systems. Dynamic modulus of elasticity E samples' measurements of investigated plastics using the forced resonant oscillation method of a cantilever-fixed rod at sound frequencies have not shown significant differences in the results. The differences in the values of E for PETG plastics samples are up to 5%. All investigated PETG plastics cooled and solidified quickly without shrinkage, deformation, with minimal delamination. Such PETG plastic properties currently make it one of the best materials for those who are starting to work with a 3D printer.

The obtained bactericidal PETG material is intended for 3D printing and, due to its disinfecting properties, can be used in traditional areas of polymer plastics use as an antibacterial agent. In households, antibacterial surfaces can be door handles, light switches, stationery, computer equipment and phones, plumbing fixtures, bank cards etc. where bacteria are concentrated.

As investigated PETG material can be used to manufacture items for general use, where the risks of cross-contamination are most likely, it is necessary to consider that its antibacterial properties do not replace surface cleaning or disinfection procedures. The effectiveness of all antibacterial surfaces depends on the amount of substances suitable for bacterial use - the more of these substances on the surface, the worse the antibacterial effect will be. Therefore, no matter how effective the bactericidal coating is, it will not provide one hundred percent protection against bacteria and will not relieve us of the need to regularly wash our hands.



ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОНОННОГО СПЕКТРУ КРИСТАЛА $(\text{NH}_4)_2\text{BeF}_4$

Н. Бобиляк, М. Рудиш, Р. Брезвін, А. Кашуба

Львівський національний університет імені Івана Франка. вул. Кирила і

Мефодія 8, Львів, 79000, Україна

rudysh.myron@gmail.com

У роботі проведено теоретичне дослідження особливостей фононного спектра кристала $(\text{NH}_4)_2\text{BeF}_4$ у параелектричній фазі. Розрахунок фононного спектра здійснювався з використанням методу лінійного відгуку в рамках теорії функціоналу густини (DFT). Для розрахунку використано нормозберігаючий псевдопотенціал та узагальнене градієнтне наближення (GGA). Розрахунок властивостей кристала передувала геометрична оптимізація кристалічної ґратки проведена з використанням алгоритму Бройдена-Флетчера-Голдфарба-Шенно (BFGS).

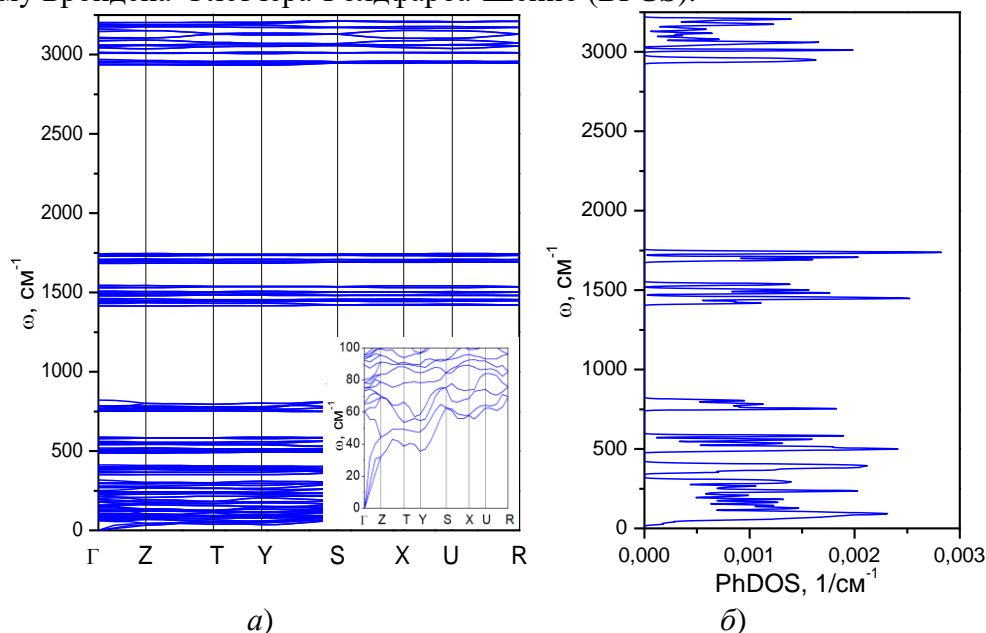


Рис. 1. Дисперсійні криві $\omega(\mathbf{q})$ фононного спектра (а) та густина фононних станів (б) кристала $(\text{NH}_4)_2\text{BeF}_4$, розраховані з використанням GGA функціоналу.

Отримано фононну густину станів та дисперсію фононів досліджуваного кристала. Розраховано частоти коливних мод та використовуючи отриману парціальну густину станів проаналізовано внески окремих атомів у коливний спектр.

$$\Gamma_{\alpha} = 26B_{1u} + 17B_{2u} + 26B_{3u}, \quad (1)$$

$$\Gamma_{\nu} = 27A_g + 18B_{1g} + 27B_{2g} + 18B_{3g}, \quad (2)$$

Проведено аналіз симетрії коливних мод кристала в рамках теорії груп. Отримано правила відбору для інфрачервоних спектрів та спектрів комбінаційного розсіювання. Отримані результати обговорено та співставлено з наявними експериментальними результатами.

Робота виконана за підтримки Міністерства освіти і науки України в рамках реалізації проєкту молодих вчених «Нові моно-, полі-, нанокристалічні матеріали подвійного призначення для акумуляторів, накопичувачів водню, сенсорної техніки та електроніки» (НДР № 0123U100599).



ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ НАНОКОМОЗИТНОЇ СТРУКТУРИ В АМОРФНОМУ СПЛАВІ $Al_{87}Ni_8Gd_5$ ПІДЧАС НАГРІВАННЯ.

Мудрий С.І., Кулик Ю.О., Пруніца В.В.

Львівський національний університет імені Івана Франка,

вул. Кирила і Мефодія, 8, 79005 Львів, Україна,

e_mail: vitalii.prunitsa@lnu.edu.ua

Наноккомпозитні матеріали привертають значну увагу дослідників насамперед завдяки унікальному комплексу фізико-хімічних властивостей. Потрібно відзначити, що в останні роки спостерігається суттєве зростання інтересу до такого класу наноккомпозитних матеріалів, як сплави Al-Ni-РЗМ (рідкісноземельний елемент- Y, La, Dy, Gd) з вмістом 80-90% Al, 5-10% Ni, 5-10% РЗМ. Зокрема, межа плинності сплавів досягає значення 1,0-1,6 ГПа, що перевищує відповідні значення для промислових сплавів на основі алюмінію. Унікальні механічні властивості аморфних сплавів даного типу створюють перспективні умови для використання у високотехнологічних галузях промисловості.

В даній роботі методом високотемпературної X-променевої дифрактометрії проведено детальне дослідження структурно-фазових перетворень під час нагрівання аморфного сплаву $Al_{87}Ni_8Gd_5$. Аморфні сплави отримували методом надшвидкого охолодження розплаву на обертовому мідному диску. Структурні дослідження в температурному інтервалі 20 – 400°C проводили на автоматизованому дифрактометрі ДРОН-3, оснащеному високотемпературною вакуумною камерою.

Як показали результати проведених досліджень, ближній порядок в аморфному сплаві $Al_{87}Ni_8Gd_5$ виявляє мікронеоднорідний характер. При цьому спостерігається формування структурних одиниць (кластерів) з переважаючою хімічною взаємодією між атомами Al і Ni, розподілених в аморфній основі з топологічним ближнім порядком. Присутність препіка на кривих інтенсивності розсіяння, локалізованого в околі $\approx 14 \text{ nm}^{-1}$, вказує на існування проміжного атомного порядку, ймовірною причиною якого є кореляція в розташуванні атомів Gd в кластерах з переважаючою хімічною взаємодією атомів Al і Gd. Під час нагрівання в температурному інтервалі 145-305°C, спостерігається виділення нанокристалів Al, розподілених в аморфній матриці, збагаченій легувальними елементами. Слід відзначити, що на початковій стадії нанокристалізації (190-305°C) ріст нанокристалів має дифузійно контрольований характер і відбувається за механізмом зародження та тривимірного росту.



СЕКЦІЯ В

ОПТИКА І СПЕКТРОСКОПІЯ

SECTION B

OPTICS AND SPECTROSCOPY



ENHANCED CHIRAL SENSING WITH SURFACE PLASMONS IN PRISM COUPLING

Oleh Demianyk¹, **Sergey Polevoy**², **Oleh Yermakov**^{1,3}

¹ V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

² O. Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics of the NASU, Kharkiv, Ukraine

³ Leibniz Institute of Photonic Technology, Jena, Germany

o.demianyk@gmail.com

Chirality is used to describe an object that is not superposable on its mirror image. In chemistry, chiral molecules are called enantiomers, which are either "left-handed" or "right-handed". Despite having the same chemical structure, most chiral molecules show significant differences in biological activity, being the poison or the drug depending on the handedness. The main difficulty during the measurement of chiral substances is the need to detect extremely weak chiroptical signals from a small concentration of chiral molecules. In our problem, we use a Kretschmann scheme based on a plasmonic prism to detect and measure chiral substances [1].

In this work, we first excite a surface plasmon-polariton at the metal-dielectric interface via the prism coupling in the attenuated total internal reflection regime with a plane TM-polarized wave. The coupling of the incident plane wave into the surface wave is observed as a dip in the reflection spectrum at a certain angle. Then, we substitute a dielectric medium by a chiral layer. In this case, the small response in the TE-polarization emerges due to the mixing of electric and magnetic fields. As a result, there is the angular difference between the spectral resonances in right- and left-handed circular polarized waves. To characterize the sensitivity of chiral substance detection we consider the amplitude and phase of the differential reflectance and the dependence of the angular shift on the chirality coefficient.

We aim to increase the angle of divergence between the reflection spectra peaks for the left- and right-handed circular polarization, and accordingly the efficiency of chiral sensing. It may be achieved via the enhancement of the response in TE polarization. Introducing the efficient 2D conducting layer instead of the metal film, we improve the efficiency of chiral sensing by about an order of magnitude. Finally, we propose the real designs of plasmonic gratings and metasurfaces for the real implementation of the prism-based chiral sensor.

[1] S. Droulias, L. Bougas, ACS Photonics, **6**(6), 1485 (2019).



OPTICAL CONSTANTS OF 2 NM SILVER FILMS CALCULATED WITH PHILLIPS APPROACH

Y. Borovets, I. Pylypiv, V. Ilchuk, R. Marushchak
Ivan Franko National University of Lviv

The results of calculating the spectral dependences of the optical constants (refractive index n and extinction coefficient k) of 2 nm thick nanoscale gold films using the Phillips approach [1] are presented herein, the algorithms for solving the equations of these approaches are provided, which have been implemented in Python. It should be noted that the application of these methodologies is contingent upon the assumption that the nanoscale structure of the film is a plane-parallel homogeneous metal layer. The results of structural studies indicate that a silver film with a thickness of 2 nm exhibits a dispersed-island structure with a degree of filling of the substrate surface $p = 0,31$ [2].

Since the Phillips equations are a system of transcendental equations of two variables (n and k), a Python algorithm for identifying a set of positive values of n and k for a given set of optical coefficients of a silver film has been developed (in this work?). The fundamental principle of the algorithm is to identify a set of values for n and k that simultaneously align with the theoretical solutions for the transparency coefficient T_{theor} and the reflection coefficient R_{exp} , while also matching the experimental values for T_{exp} and R_{exp} . The program utilized a set of Python commands (contours) to calculate the intersection points of curves that simultaneously satisfied our equations [3].

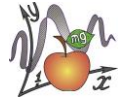
As a result of calculating the spectral dependences of n and k of a silver film with a mass thickness of 2 nm, it was demonstrated that in the vicinity of plasmonic absorption [4], which is observed at electromagnetic wavelengths of $\lambda = 450$ nm, the refractive index is $n = 6$ and the extinction coefficient $k \approx 1$.

[1] R. I. Bihun., Z. V. Stasyuk., O. V. Stroganov., M. D. Buchkovska., D.S. Leonov. The influence of germanium underlayers on the structure, electrical conductivity and optical properties of nanoscale silver films. *Metallophysics and advanced technologies*. 2018. Vol. 40, No. 5. P. 601–613.

[2] Bihun R.I., Stasyuk Z.V., Stroganov O.V., Leonov D.S. The effect of germanium sublayers on the optical conductivity of thin gold films. *Metallophysics and advanced technologies*. 2018. Vol. 40, No. 7. P. 931–953.

[3] Phillips R. T. A numerical method for determining the complex refractive index from reflectance and transmittance of supported thin films. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 1983. Vol. 16. P. 489–497

[4] Dmytruk M.L., Kondratenko O.S., Kovalenko S.A., Mamontova I.B. Classical and topological size effects in the optical properties of thin gold films. *Physics and chemistry of solid state*. 2006. Vol. 7, No. 1. P. 39-44.



CROSS FOCUSING OF TWO COAXIAL-GAUSSIAN LASER BEAMS IN THERMAL QUANTUM PLASMAS: EFFECT OF RELATIVISTIC NONLINEARITY

Naveen Gupta

Lovely Professional University Phagwara, India

naveens222@rediffmail.com

This paper investigates the cross-focusing behavior of two q -Gaussian laser beams interacting nonlinearly with a thermal quantum plasma (T.Q.P). q -Gaussian beams are a generalized form of Gaussian beams that exhibit unique propagation characteristics. We theoretically explore the interplay between self-focusing and cross-focusing mechanisms driven by the relativistic mass nonlinearity of the plasma electrons. The analysis employs moment theory to find the semi analytical solution of the nonlinear partial differential equations governing the evolution of beam envelopes. Our investigation focuses on the influence of the q -parameter on the laser beams on evolution of their beam widths.

[1] T. H. Maiman, "Stimulated optical radiation in Ruby," Nature **187** 493 (1960).



SELF FOCUSING AND SELF PHASE MODULATION OF ELLIPTICAL Q-GAUSSIAN LASER BEAMS IN DIFFRACTION MANAGED CUBIC QUINTIC NONLINEAR MEDIA

Abhay Limbu, Naveen Gupta

Lovely Professional University, Phagwara

abhaylimbu2002@gmail.com

This Paper investigates the Self-focusing and self-phase modulation (SPM) of elliptical q-Gaussian laser beams propagating in diffraction-managed cubic-quintic nonlinear media. The combined effects of diffraction, self-focusing, and SPM are analyzed using nonlinear Schrodinger equation (NLSE). The effect of various parameters, such as q parameter of the laser beam, the beam ellipticity and nonlinearity coefficient, on the propagation dynamics is explored. Numerical simulations are performed to illustrate the evolution of the beam width and the phase modulation along the propagation distance. The results show that the beam ellipticity significantly influences the self-focusing and SPM behavior. Elliptical beams exhibit asymmetric self-focusing and SPM, with the stronger effects occurring along the major axis of the ellipse. The diffraction management plays a crucial role in controlling the beam propagation.



SPATIAL FREQUENCY MODULATION OF Q-GAUSSIAN LASER BEAMS IN A COLLISIONAL PLASMA FEATURING AN AXIAL DENSITY RAMP

Aatif Ahmad and Naveen Gupta

Lovely Professional University, Phagwara

naveens222@rediffmail.com

This study investigates the spatial frequency chirping of q-Gaussian laser beams during nonlinear interaction with plasmas exhibiting an axial density ramp. The chirping, a consequence of the position-momentum uncertainty principle, is analyzed through the influence of non-uniform intensity distribution on the plasma. Uneven heating due to the intensity profile leads to self-focusing of the laser beam via plasma electron redistribution. The subsequent reduction in transverse dimensions induces a spread in the photons' transverse momentum, modifying the laser's axial phase (spatial frequency). Variational theory is employed to derive coupled equations governing the evolution of the beam's radius and spatial frequency. Numerical solutions of these equations reveal the dependence of chirping on various laser and plasma parameters.



НАНОСТРУКТУРОВАНЕ ОПТОВОЛОКНО ДЛЯ ПОСИЛЕНОГО ЗАХВАТУ СВІТЛА

Олег Єрмаков

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків,
Україна

Leibniz Institute of Photonic Technology, Jena, Germany

oe.yermakov@gmail.com

Оптичні волокна є ключовими пристроями сучасної фотоніки та успішно застосовуються в різноманітних галузях, включаючи телекомунікації та медицину. Найбільш вдалою і широко поширеною геометрією є волокно зі ступінчастим профілем показника заломлення, виготовлене з кремнезему з легованою серцевиною, яка підтримує лише одну оптичну моду. Хоча фактичні можливості транспортування світла чудові, основна проблема виникає на початку волокна, де має збиратися світло. Недоліком комерційного одномодового оптоволокна є низький контраст показника заломлення між серцевиною і оболонкою, що призводить до низької числової апертури. Як наслідок, світло може ефективно збиратися в оптоволокно в діапазоні кутів падіння лише до 15° [1].

У цій роботі теоретично й експериментально показано, що нанесені на торці оптоволокон діелектричні наноструктури дозволяють суттєво підвищити ефективність захвату світла, тобто перетворення падаючої плоскої хвилі у хвилеводну моду, до безпрецедентно високих рівнів. Розроблено алгоритм підбору аксіально-симетричних діелектричних наноструктур на торці оптоволокна для посилення захвату світла. Полімерні аксіально-симетричні наноструктури були виготовлені на торці оптоволокна за допомогою технології прямого лазерного друку. Використовуючи переваги унікальних властивостей технології нанодруку, нам вдалося перевершити функціональність оптоволокна на декілька порядків у порівнянні з неструктурованим. Різні типи періодичних та аперіодичних аксіально-симетричних наноструктур були нанесені на торці одномодових [1] та багатомодових [2] оптоволокон, що призвело до створення оптоволоконних пристроїв виняткової якості та ефективності захвату світла, що перевершують усі раніше відомі аналогічні пристрої. Продемонстровано посилення захвату світла під кількома вибраними кутами та у межі великих кутових інтервалів.

Ця розробка може бути застосована в різноманітних передових галузях, які вимагають високоефективного збору світла в обраних кутових інтервалах, включаючи ендоскопію та квантові технології.

[1] O. Yermakov, M. Zeisberger, H. Schneidewind, J. Kim, A. Bogdanov, Y. Kivshar, and M. A. Schmidt, *Appl. Phys. Rev.*, **10**(1), 011401 (2023).

[2] M. Zeisberger, H. Schneidewind, T. Wieduwilt, O. Yermakov, and M. A. Schmidt, *Opt. Lett.*, **49**(8), 1872 (2024).



ЗМІЩЕННЯ КУТА БРЮСТЕРА ЗА ДОПОМОГОЮ ДВОВИМІРНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА СТРУКТУР

Оксана Маньковська¹, Олег Єрмаков²

¹Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

²Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків,
Україна

E-mail: oksana.mmankovska@gmail.com

При певному специфічному куті падіння, що називають кутом Брюстера, коефіцієнт відбиття для ТМ-поляризації дорівнює нулю. Іншими словами, неполяризоване світло поляризується, бо відбивається тільки ТЕ лінійна поляризація. Деякі специфічні застосування (антиблікові покриття сонячних панелей, поляризаційні фільтри, мікроскопія тонких шарів, тощо) потребують ефекту Брюстера на різних кутах падіння, які бажано контролювати в залежності від конкретної задачі.

У цій роботі буде запропоновано одну з можливостей вирішення цієї проблеми, а саме за допомогою використання двовимірних (2D) провідних матеріалів та структур [1]. Зокрема, буде показано, що за рахунок поверхневої провідності можна досягти зміщення кута Брюстера на десятки градусів [2].

Отримані аналітичні результати повністю узгоджуються з чисельними розрахунками на основі методу скінченних елементів. Розроблені у роботі аналітичні та чисельні методи дозволяють провести аналогічне дослідження зсуву кута Брюстера для широкого класу двовимірних матеріалів та структур.

Результати роботи можуть знайти застосування в динамічно керованих поляризаційних фільтрах та значно розширити фундаментальні знання з фізики взаємодії світла і речовини при наявності ультратонких та двовимірних матеріалів та структур.

[1] A. Andryieuski, and A. Lavrinenko, *Opt. Express*, **21**(7), 9144-9155 (2013).

[2] O. Yermakov, *Phys. Rev. A*, **109**, L031502 (2024).



STUDY OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE OPTICAL BAND GAP OF POLYAMINOARENES

Yuliia Markiv, Oksana Konopelnyk, Olena Aksimentyeva

Ivan Franko National University of Lviv, 8, Kyryla & Mefodiya Str., Lviv, 79005, Ukraine

E-mail: markivula@gmail.com

Among electrically conductive polymers, polyaminoarenes attract the special attention of researchers due to their physical and chemical properties. In particular, polyaniline (PAn) and its derivatives have interesting and controllable optical properties, are inexpensive and easy to synthesize. That is why these polymers are widely studied in the field of nanotechnology for the improvement of sensors, optoelectronic and photonic devices [1].

The work investigated thin films of polyaniline and poly-ortho-toluidine (PoTi) electrochemically deposited on the surface of optically transparent electrodes, in particular glass coated with SnO₂ and an elastic substrate of indium-tin-oxide-polyethylene terephthalate (ITO-PET).

The absorption spectrum of polyaniline is characterized by three bands. The absorption with a maximum near 400 nm is responsible for π - π^* -transitions, the band at 660 nm refers to the n - π^* -transition from the binding molecular orbital of the ground state of the nitrogen heteroatom to the relaxing orbital of the quinoid ring, and the third, long-wavelength band that corresponds to delocalized charge carriers, is observed at $\lambda = 790$ nm and confirms the formation of a conjugation chain in the polymer.

On the basis of absorption spectra, using Tauk's method [2], the optical band gap (E_g) of polyaniline and poly-ortho-toluidine [3] obtained on different substrates was determined. It is shown that the value of the optical band gap of poly-ortho-toluidine practically does not differ from the value of E_g , obtained for the film of polyaniline. It can be assumed that the presence of an electron-donating substituent in the ortho-position of the benzene ring of the aniline monomer does not affect the E_g value of the conjugated polymer. The optical band gap of thin films of the investigated polyaminoarenes changes significantly when they are deposited on different electrodes. The use of a flexible ITO-PET substrate causes a significant reduction in the optical band gap of both polyaniline and poly-ortho-toluidine.

[1] Mahnoush Beygisangchin, Suraya Abdul Rashid, Suhaidi Shafie, Amir Reza Sadrolhosseini and Hong Ngee Lim, *Polymers (Basel)*, V.13(12):2003 (2021).

[2] Tauc J, *Mater Res Bull*, V. 3 (1968).

[3] O.I. Konopelnyk, N.S. Savytsky, O.I. Aksimentyeva, Yu.Yu. Horbenko, *Physics and chemistry of solid state*, V. 17, №4 (2016).



LUMINESCENCE OF Dy³⁺ DOPED ZINC-BORATE GLASSES FOR WHITE LIGHT EMISSION APPLICATIONS

R. Pasternak¹, M. Prokopchuk¹, A. Mahlovana¹, M. Kushlyk¹, D. Slobodzyan¹, Y. Shpotyuk^{1,2}, J. Szlęzak², B. Mahlovanyi^{1,2}, A. Luchechko¹

¹Department of Sensor and Semiconductor Electronics, Ivan Franko National University of Lviv, 107, Tarnavskoho st., 79017 Lviv, Ukraine

²Institute of Physics, University of Rzeszow, 1, Pigoia st., 35959 Rzeszow, Poland

e-mail: roksolana.pasternak@lnu.edu.ua

Oxide-based glasses, particularly borate glasses, exhibit a unique set of properties, making them ideal for various optical applications. Borate glasses offer enhanced stability across a wide temperature range, low-temperature forming capabilities, high transparency in the visible spectrum, and excellent chemical durability. Introducing rare earth ions, such as Dysprosium (Dy³⁺), into borate glasses presents a promising avenue further to improve their optical and luminescent characteristics [1]. Dy³⁺ ions exhibit a unique luminescent property, emitting light across a broad spectrum from blue to yellow within the visible range [2]. This distinctive feature is exploited in various applications, including colourful displays and lighting systems such as lasers, LEDs, etc. Its compatibility with glass hosts also underscores its utility in fabricating optical components like lenses and fibers.

This study employed the melt-quenching method for the synthesis of zinc-borate glasses doped with Dy³⁺ ions (Dy₂O₃). Our investigation aimed to explore the effect of Dy³⁺ doping on luminescence emission and excitation spectra. This research contributes to advancing the understanding of potential applications of borate glasses doped with Dy³⁺ ions in various optical and optoelectronic systems.

The UV–Vis–NIR absorption analysis indicated the presence of Dy³⁺ ions in the prepared glass, with 11 transitions observed. The excitation spectra of the borate glasses were obtained by monitoring the emission at 576 nm in the wavelength range of 300–500 nm. The seven distinct and prominent peaks originating from transitions ⁶H_{15/2} → ⁶P_{3/2}, ⁶P^{7/2}, ⁶P_{5/2}, ⁴F_{7/2}, ⁴G_{11/2}, ⁴I_{15/2}, and ⁴F_{9/2}, at 323 nm, 349 nm, 363 nm, 385 nm, 424 nm, 451 nm, and 471 nm, respectively, were observed. The prepared samples exhibited better luminescence when excited at 349 nm, with the best intensity achieved at 1.0 mol% Dy₂O₃. Notably, the yellow emission is highly sensitive to its environment, whereas the blue emission remains relatively unaffected. By altering the glass composition, we can manipulate the yellow to blue emission intensity ratio, facilitating the production of white light.

- [1] B. Mahlovanyi, M. Truax, A. Luchechko, Y. Shpotyuk, et al., Optical properties and tunable luminescence of Ce³⁺/Dy³⁺ doped lithium borate glasses for photonic applications, *J. Lumin.*, **263**, 120120 (2023).
- [2] N. Yaduvanshi, Ch. Basavapoornima, A. S. Alqarni, et al., Enhanced white light emission and quantum efficacy of borate-zinc–lithium-aluminium glasses doped with Dy₂O₃ for potential white light emission applications, *Optical Materials*, **151**, 115359 (2024).



ЕЛЕКТРОННА ЕНЕРГЕТИЧНА СТРУКТУРА КРИСТАЛІВ АВХ₃ (А=Cs; В=Pb, Sn, Ge; Х=Cl, Br, I)

Яцюшка Д.В., Щудло М.І., Чернодольський Я.М.

Львівський національний університет імені Івана Франка,
фізичний факультет, вул. Кирила і Мефодія, 8, Львів, 79005, Україна,
chornodolsky@gmail.com

Використання матеріалів перовскітів за останні роки призвело до значного прогресу у створенні тонкоплівкових сонячних елементів, світловипромінюючих діодів і датчиків гамма- та X-випромінювання [1–9]. Головною перевагою металоорганічних перовскітів є те, що для їх отримання використовуються поширені вихідні сполуки і прості технологічні прийоми. Важливими особливостями перовскітних кристалів для практичного застосування є висока рухливість, велика дифузійна довжина основних носіїв заряду та великий час життя. Однак гібридні перовскітні сонячні комірки характеризуються дуже швидкою деградацією. Тому особливу увагу дослідників привертають повністю неорганічні перовскіти.

Предметом дослідження в даній роботі є неорганічні монокристали АВХ₃ (А=Cs; В=Pb, Sn, Ge; Х=Cl, Br, I). Більшість цих матеріалів є напівпровідниками, які поглинають видиме та ультрафіолетове випромінювання. На даний час актуальною задачею є вивчення структурних, електронних та оптичних властивостей таких матеріалів. В даній роботі проведено розрахунок електронної енергетичної структури даних кристалів для кубічної, орторомбічної та тетрагональної ґраток, використовуючи метод проєкційних приєднаних хвиль та перевірено коректність застосування методу для розрахунку зонно-енергетичної структури кристалів, парціальної та загальної електронної густини станів кристалів. Отримано добре узгодження теоретичних та експериментальних результатів у зміні ширини забороненої зони кристалів для різних ґраток.

- [1] G. Yang, J. Mater. Chemistry A, **4**, 3970 (2016).
- [2] D. Zhou, J. Nanomat., **2018**, 15 (2018).
- [3] M.A. Green, Nature Photonics, **8**, 7, 506 (2014).
- [4] D. Wang, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, **147**, 255 (2016).
- [5] J.J. Yoo, Nature **590**, 587 (2021).
- [6] G. Niu, J. Mater. Chemistry A, **3**, 8970 (2015).
- [7] B. Philippe, Chem. Mater., **27**, 5, 1720 (2015).
- [8] X. Zhao, Photonics, **2**, 4, 1139 (2015).
- [9] J.M. Frost, Nano Lett., **14**, 2584 (2014).



ВПЛИВ ОДНОВІСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДВОПРОМЕНЕЗАЛОМЛЕННЯ КРИСТАЛІВ СУЛЬФАТУ РУБІДІЮ

Іван Пришко¹, Орест Штука¹, Василь Стадник¹, Руслан Брезвін¹

¹Львівський національний університет імені Івана Франка, фізичний факультет, вул. Драгоманова 19, 79005, Львів, Україна

В даній роботі інтерферометричним методом досліджено фотопружність ромбічних кристалів (клас симетрії mmm) сульфату рубідію Rb_2SO_4 (СР) який відносять до кристалічної групи $A_2\text{BX}_4$. Цей кристал за температури $T_c \sim 922$ К зазнає фазового переходу (ФП) з псевдогексагональної параелектричної фази $P-3m1$ в орторомбічну сегнетоеластичну фазу (просторова група симетрії $D_{2h}^{16} - Pmcs$). Досліджувані кристали отримано методом повільного випаровування за кімнатної температури водного багатакратно пепекристалізованого розчину солей чистого сульфату рубідію Rb_2SO_4 .

Виявлено, що одновісні стискання σ_m не змінюють характеру, а лише величину нахилу кривих $\Delta n_i(\lambda)$. Так, одновісне стискання σ_z приводить до зменшення Δn_x у середньому $\delta(\Delta n_x) \sim 0,89 \cdot 10^{-4}$, тоді як одновісне стискання σ_y приводить до зростання Δn_x у середньому $\delta(\Delta n_x) \sim 1,01 \cdot 10^{-4}$. Подібні зміни виявлено для Δn_z : навантаження σ_x збільшує його на $\delta(\Delta n_z) \sim 1,19 \cdot 10^{-4}$, а σ_y зменшує на $\delta(\Delta n_z) \sim 1,34 \cdot 10^{-4}$. Така поведінка індукованих одновісними стисканнями змін Δn_y підтвердила раніше виявлену закономірність для кристалів групи $A_2\text{BX}_4$: одновісні стискання вздовж взаємноперпендикулярних напрямів ведуть до різних за величиною та знаком змін двоприменезаломлення.

Раніше було виявлено, що за кімнатної температури для довжини світлової хвилі $\lambda_0 = 490$ нм величина $\Delta n_x = 0$, це відповідає оптичній ізотропній точці (ОІТ). Оскільки одновісні навантаження вздовж осей Y і Z зміщують криві $\Delta n_x(\lambda)$ у бік більших і менших значень, то й відповідно змінюється значення довжини хвилі, для якої $\Delta n_x = 0$, що означатиме зміщення положення ІОТ по спектру. Так ОІТ знаходиться на довжині світлової хвилі $\lambda_0 = 420$ нм для $\sigma_z = 100$ бар та $\lambda_0 = 639$ нм для $\sigma_y = 100$ бар. Можна говорити про значне спектрально-баричне зміщення положення ОІТ у кристалах СР: $d\lambda_0/d\sigma_z = -0,7$ нм/бар і $d\lambda_0/d\sigma_y = +1,5$ нм/бар.

Також виявлено, що прикладання тиску вздовж Y-осі зменшує величину Δn_z , а вздовж Z-осі збільшує величину Δn_y , так, що за одночасної дії одновісних тисків $\sigma_y = \sigma_z$ матиме місце рівність $\Delta n_y = \Delta n_z = -10,77 \cdot 10^{-4}$. Оскільки $\Delta n_y = n_x - n_z$, а $\Delta n_z = n_x - n_y$, то це означатиме, що $n_z = n_y$. Це відповідає виникненню нової «псевдоізотропної» точки. Тобто у випадку одночасного прикладання одновісного навантаження вздовж кристалофізичних напрямів Y та Z-осі можемо отримати за кімнатної температури нову ОІТ. Раніше можливість індукування шляхом одночасного прикладання одновісних навантажень в різних кристалофізичних напрямках нових ОІТ була виявлена в низці ізоморфних кристалів цієї групи, а саме K_2SO_4 і $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ [1].

[1] Стадник В. Й., Романюк М. О., Брезвін Р. С. Електронна поляризованість фероїків. – Монографія. Львів. – Видавничий центр ЛНУ. – 2014. – 306 с.



НАНОГІБРИДИ Fe₃O₄-Ag ЯК НОВІ SEIRA-SERS СТРУКТУРИ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТИМІНУ

Максим Раллєв¹, Олена Фесенко¹, Андрій Яремкевич¹, Євген Леоненко¹, Олена Лавриненко²

¹Лабораторія СЕС Інституту фізики НАН України, 03680, Україна, м. Київ, пр. Науки, 46

² Інститут проблем матеріалознавства ім. Францевича НАН України, вул. Академіка Кржижановського, 3, Київ 03142, Україна.
maximrallev@gmail.com

Наночастинки Fe₃O₄ є перспективним парамагнітним матеріалом, який має широкий спектр використання, наприклад в біомедицині для цільової доставки ліків та імуноаналізів, крім того, він використовується і в промисловості для каталітичного розкладання, рекультиватії підземних вод і обробки небезпечних відходів. У цій роботі ми вивчали можливості використання гібридних наноструктур Fe₃O₄ модифікованих сріблом для підсилення ІЧ та Раманівського сигналу різних біологічних молекул на прикладі молекули тиміну.

Гібридні наночастинки Fe₃O₄-Ag були синтезовані за допомогою методу обертально-корозійного диспергування. Характеризацію зразків проведено за допомогою рентгенографічного методу, мікроскопії, ІЧ та Раманівської спектроскопії, а також спектроскопії видимого діапазону. ІЧ спектри вимірювалися на Фур'є спектрометрі "Bruker" (Німеччина), спектри раманівського розсіювання досліджувалися на micro-Raman спектрометрі "Renishaw" (Великобританія) з використанням лазера $\lambda=633$ нм, спектри видимого діапазону отримувалися на спектрометрі Shimadzu (Японія).

Показано, що гібридні наночастинки Fe₃O₄-Ag можуть бути використані в якості SEIRA-SERS підкладок для детектування біологічних молекул. Отримано підсилення Раманівського сигналу від молекул тиміну (Thy), адсорбованого на ці гібридні наноструктури. Визначено, що різні молекулярні групи підсилюються по-різному, в залежності від типу взаємодії та орієнтації молекули відносно поверхні. Аналіз SEIRA спектрів свідчить, що тимін хімічно адсорбується на наногібриди Fe₃O₄-Ag, що видно з сильного підсилення -NH групи тиміну. Отже, застосування гібридних магнітно-плазмонних НЧ дозволяє використовувати комплекс унікальних властивостей їх складових і реалізовувати нові властивості, що виникають внаслідок взаємного впливу компонентів.

З одного боку, отримані нами результати можна використати для розробки чутливих SEIRA-SERS підкладок для детектування та аналізу надмалих кількостей хімічних реагентів. З іншого боку, за рахунок високих адсорбційних властивостей Fe₃O₄, подібні структури можуть використовуватися в якості моніторингу та фільтрів для захоплення та детектування шкідливих речовин у середовищі. Одержані в роботі результати можуть бути використані в біології для розробки біочіпів і біосенсорів (визначення нуклеїнових кислот, білків і метаболітів) та у медицині (скринінг лікарських речовин, виявлення антитіл і антигенів, діагностика інфекцій).



PHOTOVOLTAIC PROPERTIES OF CsPbBr₃: CORRELATION BETWEEN PHOTOCURRENT AND THERMOSTIMULATED CONDUCTIVITY

Yuriy Tymkiv¹, Roman Lys¹, Roman Gamernyk²

¹Department of Sensor and Semiconductor Electronics, Ivan Franko National University of Lviv, Tarnavskogo st., 107. Lviv 79017, Ukraine.

²Department of Experimental Physics, Ivan Franko National University of Lviv, Kyryla i Mefodiya St., 8. Lviv 79005, Ukraine.

E-mail: y.tymkiv.official@gmail.com

CsPbBr₃ is a semiconductor material that is attracting considerable interest due to its potential applications in optoelectronics. This material is characterized by unique properties such as high photosensitivity, thermal stability, and chemical stability. Understanding the photovoltaic properties of CsPbBr₃ is key to developing new optoelectronic devices.

One of the methods of studying the photovoltaic properties of crystals is measuring the photo diffusion current (PDC). PDC occurs when light generates charge carriers in the crystal, which then diffuse through it, creating an electric current. PDC measurements can provide valuable information on parameters such as carrier diffusion lengths, lifetimes, and recombination mechanisms.

High-quality single crystals are required to study the photovoltaic properties of CsPbBr₃. CsPbBr₃ single crystals were synthesized by the Bridgman method.

PDC measurements were performed at room temperature and when the crystal was illuminated by monochromatic light with $\lambda = 450\text{-}800$ nm. A microampere meter was used to record PDC. The dependence of the PDC on the wavelength of light (spectral sensitivity) was built based on the obtained data.

The results of the study showed that CsPbBr₃ has a high spectral sensitivity in the range of 500-600 nm. The maximum spectral sensitivity is observed at $\lambda = 560$ nm.

The study of the effect of temperature on the PDC showed that the photocurrent increases with a decrease in temperature. This indicates that the dominant mechanism of photoconductivity in CsPbBr₃ is thermally stimulated recombination of charge carriers.

The research results showed that there is a correlation between the PDC, and thermostimulated conductivity (TSC) in CsPbBr₃. This correlation can be explained by a model that considers two mechanisms of photoexcitation and recombination of charge carriers.

Investigating the photovoltaic properties of CsPbBr₃ is an important area of research with potential applications in optoelectronics. Understanding the correlation between PDC and TSC in this material can help in the design of new photodetectors, solar cells, and other optoelectronic devices.



ОПТИКО-СПЕКТРАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ДОМІШКОВИХ КРИСТАЛІВ LiNH_4SO_4 β -МОДИФІКАЦІЇ

А. Шаправський, Р.Брезвін, П. Щепанський, В. Стадник, М. Рудиш

Львівський Національний університет імені Івана Франка

ashpravsky@gmail.com

Іонні кристали LiNH_4SO_4 β -модифікації (β -LAS) викликають значний науковий інтерес через характерну для них наявність температурних фазових переходів між сегнетоелектричною, сегнетоеластичною, що спричиняють появу цікавих фізичних властивостей. Дослідження зосереджено на впливі домішок перехідних металів, які можуть індукувати нові властивості за рахунок електронних інтеракцій [1].

Вирощування монокристалів β -LAS з домішками Mn^{2+} та Cu^{2+} здійснено методом повільного випаровування за температури 318К. Застосування рентгеноструктурного аналізу та спектроскопічних методів дозволило визначити структурні зміни та дисперсії оптичних параметрів.

Досліджено вплив домішок Mn^{2+} та Cu^{2+} на рефрактивні параметри іонних кристалів LiNH_4SO_4 β -модифікації. Аналіз змін показників заломлення та двопротенезаломлення виявив залежності від концентрації домішок. При збільшенні концентрації домішки Mn^{2+} та Cu^{2+} до 5 % усереднений показник заломлення зростає майже лінійно для всіх основних напрямків, не змінюючи при цьому характер дисперсій. Домішки іонів Mn та Cu істотно змінюють абсолютні значення подвійного протенезаломлення та призводять до збільшення величини $|\partial\Delta n_i/\partial\lambda|$ для всіх напрямків.

Виявлено зміщення ізотропної точки та збільшення анізотропії оптичних властивостей, що має важливе значення для практичних застосувань для створення нових матеріалів з заданими оптичними властивостями у фотоніці та оптоелектроніці.

[1]. R.S. Brezvin, M. Piasecki, O.Ya. Kostetskyi, P.A. Shchepanskyi, V.Yo.

Stadnyk, O.R. Onufriv, M.Ya.Rudysh. Physica B: Condensed Matter, Vol. 648 (1), P. 414426 (2023).



БАРИЧНІ ЗМІНИ ДВОПРОМЕНЕЗАЛОМЛЕННЯ ДОМІШКОВИХ КРИСТАЛІВ β -LiNH₄SO₄:Mn

Д. Якимець, А. Шаправський, Р. Брезвін,
М. Рудиш, В. Стадник, П. Щепанський

Львівський Національний університет імені Івана Франка, вул.
Кирила і Мефодія 8, 79000, Львів, Україна

Дієвим інструментом керованого впливу на фізичні властивості кристалів може слугувати як катіон-аніонне ізоморфне заміщення, так і введення в структуру домішок, а саме іонів перехідних металів. Водночас, одновісні напрямлені механічні тиски також впливають на характер температурно-спектральні змін оптико-електронних параметрів кристалів. Це в комплексі може бути використано для створення методики прогнозування та синтезу матеріалів із наперед заданими, керованими і стабільними рефрактивними властивостями в широкому температурному та спектральному діапазонах.

Дана робота присвячена дослідженню поведінки двоприменезаломлення домішкових кристалів β -LiNH₄SO₄:Mn під дією одновісних тисків. Одновісні тиски дають можливість прослідкувати зміни оптичної індикатриси кристалів у полі зовнішніх сил стосовно вибраних елементів структури кристалів, а напрям механічного навантаження дозволяє проаналізувати поворотні механізми структурних комплексів при фазових переходах (ФП). Методом повільного випаровування синтезовано монокристали β -LiNH₄SO₄:Mn (2 та 5 wt. %). Ідентифікацію вирощених кристалів проведено з використанням методик рентгеноструктурного аналізу на дифрактометрі STOE STADI. Для даних домішкових кристалів підтверджена виявлена раніше закономірність: одновісне напруження вздовж взаємно-перпендикулярних напрямків приводить до різних за знаком і величиною змін Δn_i . Установлено, що одновісне навантаження не змінює характеру поведінки $\Delta n_i(\lambda)$ і $\Delta n_i(T)$, а лише величини $d\Delta n_i/d\lambda$ та $d\Delta n_i/dT$, а введення домішки мангану суттєво не змінює баричну чутливість $\Delta n_i(\lambda, T)$ кристала β -LiNH₄SO₄. Встановлено, що одновісні тиски вздовж напрямку Y зміщують оптичну ізотропну точку домішкового кристала в довгохвильову, а вздовж напрямку X – в короткохвильову ділянку спектру. Виявлено баричне зміщення точки фазового переходу сегнетоелектрична-парафаза по шкалі температур, характер якого залежить від напряму прикладання одновісного тиску. Досліджено спектральні й температурні залежності комбінованих п'єзооптичних коефіцієнтів $\pi_{im}^0(\lambda, T)$ та виявлено аномальну поведінку π_{im}^0 під час фазового переходу.



ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ ВЛАСТИВОСТІ СТЕКОЛ 20 Ga₂S₃ - 60 GeS₂ - 20 Sb₂S₃ ЛЕГОВАНИХ Er ТА Nd

Тетяна Яцинюк, Віталій Артюх, Анастасія Тарасенко, Андрій Кевшин,
Інна Іващенко, Володимир Галян

Волинський національний університет імені Лесі Українки, проспект
Волі 13, Луцьк, Волинська область, 43025,

Yatsyniuk.Tetiana@vnu.edu.ua

Сульфуровмісні стекла характеризуються широким вікном прозорості у видимому та інфрачервоному спектральних діапазонах, мають високу термічну та радіаційну стійкість і є добрим середовищем для введення рідкісноземельних металів.

Розчин-розплавним методом синтезовано стекла 20 Ga₂S₃ – 60 GeS₂ – 20 Sb₂S₃, легованих Er (1-4 %) та Nd (2%) [1]. Досліджено оптичні властивості стекел в широкому спектральному діапазоні (0.6 – 16 мкм) і зафіксовано поглинання смуг з максимумами (655, 755, 810, 885, 980, 1540, 2530 та 5150 нм), які відповідають переходам в f-оболонках іонів Er³⁺ і Nd³⁺.

Показано, що при одночасному збудженні іонів Er³⁺ та Nd³⁺ випромінюванням з довжиною хвилі 805 нм виникають смуги випромінювання із максимумами 1070, 1350, 1540, 1700 та 2490 нм, які відповідають переходам ⁴F_{3/2} → ⁴I_{11/2} (Nd³⁺), ⁴F_{3/2} → ⁴I_{13/2} (Nd³⁺), ⁴I_{13/2} → ⁴I_{15/2} (Er³⁺), ⁴I_{9/2} → ⁴I_{13/2} (Er³⁺), ⁴I_{13/2} → ⁴I_{9/2} (Nd³⁺) в їх f-оболонках [2, 3]. Встановлено, що висока інтенсивність смуги ФЛ із максимумом 2490 нм, обумовлена енергетичним трансфером між іонами Nd³⁺ і Er³⁺. Поєднання в стеклах 20 Ga₂S₃ – 60 GeS₂ – 20 Sb₂S₃ : Er, Nd високих значень коефіцієнта пропускання та інтенсивної ФЛ (2490 нм) створює хороші передумови для конструювання на їх основі оптоелектронних пристроїв, які працюють в середньому ІЧ діапазоні.

[1] Т. Яцинюк, А. Кевшин, В. Галян, І. Іващенко, В. Артюх, О. Березнюк, А. Тарасенко. Люмінесцентні властивості стекел Ag₂S-GeS₂ ТА Ag₂S-GeS₂-Sb₂S₃ легованих ербієм та неодимієм. Фізика та освітні технології, (4), (2023), с.28–34.
<https://doi.org/10.32782/pet-2023-4-4>

[2] V.V. Halyan, V.O. Yukhymchuk, Ye.G. Gule, I.V. Kityk, Ya. Zhydachevskyy, I.A. Ivashchenko, V.S. Kozak, A.H. Kevshyn, A. Suchocki, T.K. Yatsyniuk, M. Piasecki. Specific features of Stokes photoluminescence of the La₂S₃-Ga₂S₃-Er₂S₃ glasses / Optical Materials 128.(2022). 112394.

[3] V.V. Halyan, V.O. Yukhymchuk, I.A. Ivashchenko, V.S. Kozak, P.V. Tyshchenko, I.D. Olekseyuk. Synthesis and downconversion photoluminescence of Erbium-doped chalcogenide glasses of AgCl(I)-Ga₂S₃-La₂S₃ systems / Applied Optics. (2021) – V. 60, P. 5285–5290.

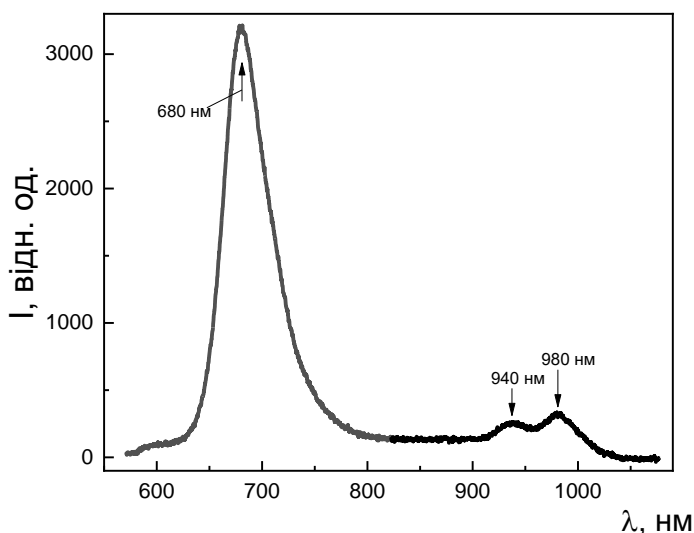


SPECTRAL-KINETIC CHARACTERISTICS OF CsSnBr₃ CRYSTALS UPON EXCITATION BY SYNCHROTRON RADIATION

Vitalii Shvets, Ivan Pryshko, Taras Demkiv

Ivan Franko National University of Lviv, 8, Kyrylo & Mepodi Street, Lviv, 79005, Ukraine, e-mail: VOLODYMYR.TURTA@lnu.edu.ua

In recent times, halide perovskites have been widely utilized in solar cells, leading to high efficiency coefficients. Additionally, due to their narrow luminescence band and the ability to adjust the emission wavelength throughout the visible spectrum by changing the halide, they have become promising for the development of LED devices, white light sources, and use in color monitors. One drawback of such materials is the presence of lead. Lead-free halide perovskites currently exhibit significantly lower efficiency in solar energy conversion; however, research in this direction is annually expanding. Considering the potential of utilizing inorganic perovskites, especially lead-free ones, a profound understanding of the nature of their excitonic states, inherent structural, and dopant defects is necessary.



The luminescence spectrum of CsSnBr₃ crystal when excited with a wavelength of 160 nm at a temperature of 78 K reveals the presence of three bands. The band at 680 nm exhibits the highest intensity. The bands at 940 nm and 980 nm have intensities an order of magnitude lower.

The band with a maximum at 680 nm may be attributed to the emission of a self-trapped exciton in CsSnBr₃ [1]. Bands in the range of 920-1000 nm may correspond to the transition of an electron from the 5s5p Sn²⁺ state in the lower part of

the conduction band to the localized sub-band of the conduction band created by the 4d-ionic states of Br [2]. However, it should be noted that first-principles calculations of the bandgap of CsSnBr₃ vary from 1.17 eV [2] to 1.72 eV [3] and are underestimated.

The decay kinetics of CsSnBr₃ single crystal at room temperature is accurately approximated by a bi-exponential curve with decay times in the picosecond ($\tau_1 = 0.8$ ns) and microsecond ($\tau_2 = 3.8$ μ s) ranges. The time τ_1 is characteristic of CsSnBr₃ single crystal, whereas τ_2 is likely determined by the relaxation of electrons on dopant levels.

This work was carried out as part of the project «Fast scintillators with high light yield based on halide perovskite crystals and nanoparticles». This project has received funding through the EURIZON project, which is funded by the European Union under grant agreement No.871072.

[1] A.S.Voloshinovskii, V.B.Mikhailik, S.V. Myagkota et al., *Opt. and Spec.* **72**, 486 (1992).

[2] S. Clark, C. Flint, J. Donaldson, *J. Phys. Chem.* **42**, 133 (1981).

[3] M. Musa Saad, B.O. Alsobhi, A. Almeshal, *Comp. Cond. Matter* **38**, e00870 (2024)



ВПЛИВ АТМОСФЕРИ ВІДПАЛУ НА ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТОНКИХ ПЛІВОК $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Cr}$

Іванна Медвідь, Богдан Бордун, Іван Бордун, Ірина Кофлюк,
Володимир Бігдай, Іван Хомишин, Назарій Порада
Львівський національний університет імені Івана Франка,
факультет електроніки та комп'ютерних технологій,
м. Львів, вул. Драгоманова, 50, email: ivanna.medvid@lnu.edu.ua

Для практичного використання в електронно-оптичних пристроях широко досліджуються як чисті так і активовані тонкі плівки ZnGa_2O_4 , які виявляють добрі люмінесцентні властивості. Оптичні та електричні характеристики тонких плівок визначаються методами отримання, режимами нанесення і наступними технологічними прийомами, а також введенням домішок, які здатні цілеспрямовано змінювати властивості тонких оксидних плівок. Тонкі плівки $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Cr}$ товщинами 0.4–1.0 мкм отримувались методом ВЧ іонно-плазмового розпилення на підкладках з плавленого кварцу $\nu\text{-SiO}_2$. Після нанесення плівок проводилась їх термообробка в атмосфері аргону та повітрі при 1000–1100 °С. Фазовий склад та структура отриманих тонких плівок досліджувались методом рентгенодифракційного аналізу (Shimadzu XDR – 600). Результати дослідження показали наявність полікристалічної структури плівок. Спектри пропускання вимірювались на спектрофлуориметрі CM 2203 з вимірювальною головкою Hamamatsu R928. Для тонких плівок $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Cr}$ у спектрах пропускання чітко спостерігається інтерференційна картина, що дає можливість провести розрахунок оптичних постійних, використовуючи інтерференційну методику.

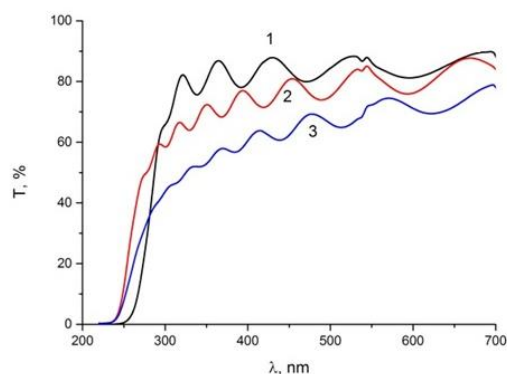


Рис. 1. Спектри пропускання $T(\lambda)$ тонких плівок $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Cr}$ без термообробки (1), відпалених у атмосфері повітря (2) і відпалених у атмосфері аргону (3) на підкладках з плавленого кварцу, $T=295\text{ K}$

Зазначимо, що невідпалені плівки характеризуються дещо більшим світлопропусканням відносно плівок відпалених в атмосфері повітря чи аргону. Проведені дослідження показали, що для невідпалених плівок характерна нормальна дисперсія показника заломлення, а для плівок відпалених в атмосфері повітря чи аргону характерна аномальна дисперсія. При цьому для плівок $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Cr}$, відпалених в атмосфері аргону, спостерігається більш складна аномальна залежність показника заломлення відносно плівок відпалених в атмосфері повітря.



МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГАЗОРОЗРЯДНОЇ ПЛАЗМИ В СУМІШАХ ІНЕРТНИХ ГАЗІВ З ПАРАМИ АТОМІВ ХАЛЬКОГЕНУ

Євген Світличний, Андрій Генерал
Інститут електронної фізики НАН України,
вул. Університетська, 21, м. Ужгород
E-mail:bercheni14@gmail.com

Завдяки своїм багатогранним властивостям сірка входить до складу деяких амінокислот (цистеїн, метіонін), вітамінів (біотин, тіамін) і ферментів [1], а окисно-відновні реакції сірки є джерелом енергії в хемосинтезі. Важливо підкреслити, що сірка міститься в атмосфері і є дуже поширеним елементом у Всесвіті та міжзоряному космічному середовищі [2]. Це зумовлює постійний інтерес до вивчення різноманітних фізико-хімічних властивостей сірки.

Наведено результати перших вимірювань спектральних характеристик випромінювання суміші парів сірки з аргоном і гелієм у газоподібному імпульсно-періодичному розряді в ультрафіолетовій і видимій областях спектра.

Поздовжній імпульсно-періодичний розряд у газорозрядному пристрої збуджувався за допомогою тиратронного генератора з комутатором ТГІ1-2000/35 і резонансним перезарядом накопичувальної ємності 1650 нФ.

В експериментах напруга на високовольтному випрямлячі становила до 5 кВ, середній струм розряду – до 1 А, частота імпульсів накачування – до 10 кГц. Як буферний газ використовувався гелій, тиск якого не перевищував атмосферного. Кристалічна сірка знаходилася в газорозрядній камері.

Інтегральні за часом емісійні характеристики розряду реєстрували за допомогою спектрометра MS 7504i який включав в себе два детектори оптичного випромінювання: камеру HS 101H CCD і фотопомножувач R928. Запис інформації з цих детекторів та її аналіз проводився за допомогою персонального комп'ютера.

У ході перших експериментів досліджувався спектральний склад випромінювання розряду в суміші парів сірки й гелію. Встановлено, що спектр люмінесценції містить випромінювання в УФ-області, яке складається з випромінювання малої інтенсивності, де спостерігаються смуги молекул S₂, і в області 600-1000 нм, яке включає випромінювання сірки та гелію.

- [1] N.Greenwood, A.Earnshaw, Chemistry of the Elements, 2nd ed.Butterworth–Heinemann. Oxford, (1997). P. 645–662.
[2] L.M., Feaga M.A. McGrath, P.D. Feldman, Astrophys. (2002). V. 570. P. 439.



ГАЗОРОЗРЯДНА КАМЕРА ДЛЯ НАПИЛЕННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК В ПЛАЗМІ ІМПУЛЬСНО - ПЕРІОДИЧНОГО РОЗРЯДУ У СУМІШІ S-He

Євген Світличний

Інститут електронної фізики НАН України,
вул. Університетська, 21, м. Ужгород
E-mail:bercheni14@gmail.com

Синтез тонких плівок плазмовим напиленням - це інноваційна технологія, яка завдяки своїм властивостям і можливостям широко використовується в різних галузях промисловості. Його виняткові властивості, такі як висока адгезія, поверхнева щільність, рівномірне та швидке нанесення покриття, широкий вибір матеріалів і екологічність, є важливими для захисту покриття та поверхневих покриттів і компонентів [1].

Плазмове напилення - це напилення, при якому джерелом енергії є плазма. Як правило, для утворення плазми використовується інертний газ аргон або гелій. Робоча речовина у вигляді порошку подається в плазму, де він розплавляється і розпилюється. Напилений матеріал осідає на поверхні виробу, де утворюється тонкий і щільний шар. Технологія плазмового напилення знайшло своє застосування в різних галузях промисловості: захист від зносу, захист від корозії, теплоізоляція, електроізоляція, декоративні покриття, медична промисловість, електроніка та напівпровідники.

Виходячи з усього вищенаведеного, дослідження в даному напрямку є актуальною задачею. Для проведення експериментів була розроблена універсальна газорозрядна камера, зображена на рис. 1

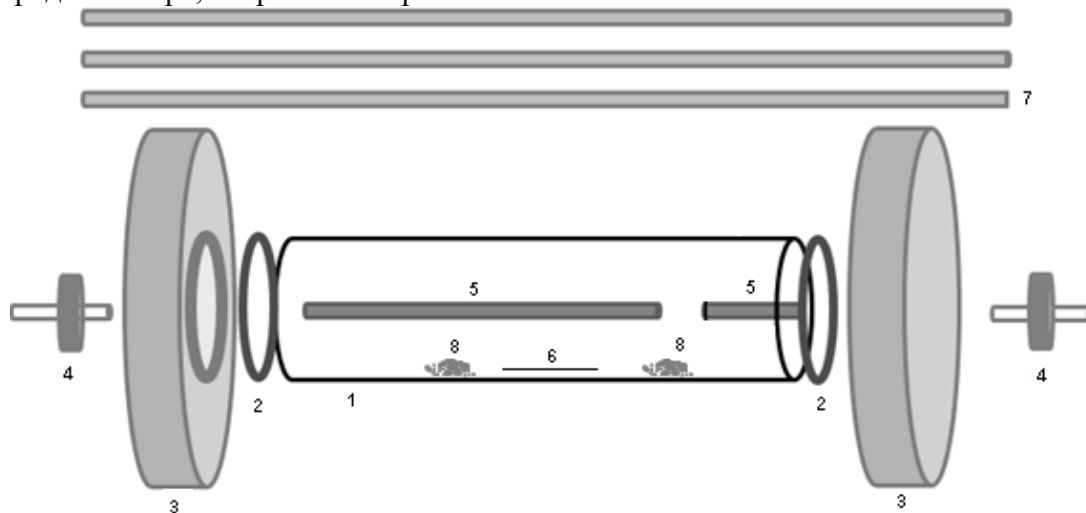


Рис. 1. Загальний вигляд універсальної розрядної камери.

1 – кварцова трубка, 2 – вакуумна прокладка, 3 – діелектричні фланці, 4 – універсальні високовольтні вводи, 5 – металеві електроди, 6 – скло для напилення, 7 – штифти для фіксації, 8 – сірка.

У ході перших експериментів отримано плівки сірки на поверні в суміші S-He.

[1] K. D. Weltmann, J. F. Kolb, M. Holub et al. The future for plasma science and technology. Plasma Process Polym. (2018)



ELECTRONIC STRUCTURE AND LUMINESCENCE SPECTRA OF K₂SO₄ CRYSTAL

**M.Ya. Rudysh¹, R.S. Brezvin², O.Yu. Khyzhun³, V.Y. Stadnyk²,
P.A. Shchepanskyi², M. Piasecki¹, N.M. Melnykova⁴, A. Kotlov⁵,
A.S. Voloshinovskii²**

¹Faculty of Science and Technology, J. Długosz University, 13/15 Armii
Krajowej al., PL-42-201, Częstochowa, Poland

²Faculty of Physics, Ivan Franko National University of Lviv, 8 Kyryla and
Mefodiy str., UA79005, Lviv, Ukraine

³Frantsevych Institute for Problems of Materials Science, National Academy of
Sciences of Ukraine, 3 Krzhyzhanovsky str., UA03142, Kyiv, Ukraine

⁴Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of
Ukraine, 31/17 Vasylkivska Street, 03022 Kyiv, Ukraine

⁵Photon Science at DESY, Notkestrasse 85, 22607, Hamburg, Germany

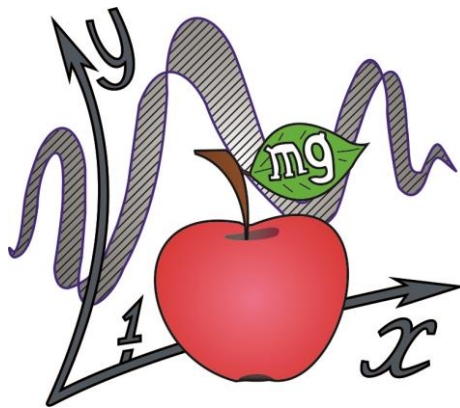
The study of dielectric crystals belongs to the group of materials A₂BX₄, where A = Li, K, Rb, Na, Cs, NH₄, BX₄ = SO₄, ZnCl₄, BeF₄ has important fundamental and practical significance. They are promising materials for use as elements of optoelectronic systems and as matrices for introducing modifying impurities. K₂SO₄ crystals are a representative of the indicated group of dielectric materials. They can be in α - β - and γ -modifications [1]. It is known that the crystals are obtained from an aqueous solution, are transparent and colorless. β -K₂SO₄ exists at temperature $T < 860$ K and has a point symmetry group mmm [2].

In the work, a β -K₂SO₄ single crystal was grown by evaporation from an aqueous solution. Within the framework of the density functional theory, band-energy structure calculations were performed using LDA, GGA-PBEsol, RSCAN and B3LYP functionals. The origin of the energy levels was clarified and the value of the band gap, which is 7 eV, was estimated using hybrid functional. The structure of electronic levels was additionally investigated using XPS and XES spectroscopy, which confirmed the theoretical results. The binding energies of electrons in the crystal were calculated. Using synchrotron radiation, the excitation and intrinsic luminescence spectra of the grown crystal at temperature $T = 80$ K were investigated.

Results present in this work was been obtained with the support of the Project of Young Scientists 0123U100599 of the Ministry of Education and Science of Ukraine. This work was partially supported by the National Science Centre (NCN), Poland, grant number: NCN 2018/31/B/ST4/00924.

[1] B. John, A. Mo, Acta Cryst. **28** 2845–2852 (1972).

[2] M.T. Robinson, J. Phys. Chem. **62** 925–928 (1958).



СЕКЦІЯ С

НАНОМАТЕРІАЛИ ТА НАНОТЕХНОЛОГІЇ

SECTION C

NANOMATERIALS AND NANOTECHNOLOGY



МЕТОДИ ВОГОТОВЛЕННЯ ГРАФЕНУ

Біляк Роман

Національний університет «Львівська політехніка», Львів, вул. Степана Бандери, 12 roman.v.biliak@lpnu.ua

Графіт, має шарову структуру, і окремі шари цього матеріалу називають графеном. Більшість методів отримання графену базуються на ідеї розділити графіт на окремі шари, використовуючи різні підходи. Вибір методу виготовлення залежить від кількох факторів, таких як розмір, кількість, якість, сфера застосування та ціна кінцевого продукту.

Усі способи отримання графену поділяються на дві великі групи методів, а саме, методи отримання графену зверху вниз і знизу вгору [4-6]. У низхідному процесі графенові шари отримують шляхом відшарування або розділенням високо упорядкованого піролітичного графіту [4-6]. У висхідному процесі графенові шари виробляються шляхом нарощування нанорозмірного матеріалу за допомогою атомного або молекулярного розташування вуглецю [4-6].

До низхідних процесів відносяться:

1. Механічний пілінг - метод базується на ідеї розділення шарів графену один від одного механічним способом. Новоселов та інші [1] використовували клейку стрічку для отримання одиничного шару графену шляхом відшарування від високо упорядкованого піролітичного графіту.

2. Хімічний пілінг - різні хімічні речовини можуть бути введені між шарами графіту для отримання інтеркаляційних сполук графіту. Завдяки інтеркалянтам відстань між шарами графіту збільшується, що дозволяє в подальшому розділити графіт на окремі шари.

3. Ультразвукова обробка - високоякісні неокислені графенові шари можна отримати розділивши графіт за допомогою енергії ультразвуку.

До висхідних процесів відносяться термічні методи CVD і PECVD, які найчастіше використовуються типом хімічного осадження з газової фази для отримання графену. Термохімічне осадження графену з газової фази передбачає подачу газів-прекурсорів, таких як метан, водень і аргон у певних співвідношеннях, і, як правило, використовують у ролі підкладки Cu та Ni, хоча також використовують і інші підкладки, такі як Ti, SiO₂, Si, Al₂O₃, Mo, Hf, Zr, Nb, Cr, W, Ta.

На сьогодні не існує жодного універсального методу для синтезу графену, що дозволяє синтезувати графен у різних лабораторіях для різних задач.

[1] М.О. Романюк, А.С. Крочук, І.П. Пашук, Оптика, Львів (2012), с.564.

[2] М.В. Ваврух, О.М. Стельмах, Журн. фіз. досл., **17**, 4902 (2013).

[3] Y. Shopa, N. Ftomyn, Sol. St. Phenom, **200**, 129 (2013).

[4] A.N.Stirling and D.Watson, in: Progress of Low Temperature Physics, ed. by D.F.Brewer, North Holland, Amsterdam (1986), V. 10, p.683.

[5] S. Mudry, I. Shtablavyi, O. Kovalskyi, in: Abstr. of XIV international conference on physics and technology of thin films and nanosystems, Ivano-Frankivsk (2013), p. 271.



РАМАНІВСЬКА СПЕКТРОСКОПІЯ ЛЕГОВАНИХ Cu ПЛІВОК ZnO, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ СПРЕЙ-ПІРОЛІЗУ

**Богдан Бойко^a, Максим Єрмаков^a, Роман Пшеничний^a,
Анатолій Опанасюк^a, Олексій Климов^b, Вісенте Муньоз-Санхосе^b**

^a Сумський державний університет, м. Суми, вул. Харківська, 116,

^b Universitat de València, C/Dr. Moliner 50, 46100 Burjassot, Spain.

b.bojko@ekt.sumdu.edu.ua

Оксид цинку (ZnO) - прямозонний напівпровідниковий матеріал *n*-типу провідності з широкою забороненою зоною (3,37 eV), відмінною хімічною і термічною стабільністю, високою енергією збудження екситонів, інтенсивною люмінесценцією, нетоксичністю, широкою доступністю і низькою вартістю складових сполуки. Ця комбінація сприятливих властивостей робить його придатним для застосування в оптоелектронних пристроях, ультразвукових перетворювачах, газових датчиках, сонячних елементах, тощо. Легування ZnO є одним із способів покращення характеристик матеріалу. Мідь особливо цікава як легуюча домішка через свою схожість з Zn за іонним радіусом та електронною структурою, а також через її поведінку як активатора люмінесценції. Серед доступних хімічних методів нанесення плівок особливо перспективним є спрей-піроліз, оскільки він дозволяє отримувати тонкі шари з контрольованими властивостями в безвакуумному середовищі. Крім того, ця методика проста в експлуатації, недорога, вона легко масштабується і дозволяє наносити плівки на підкладки з різною геометрією.

Раманівська спектроскопія один із найбільш ефективних методів детального дослідження складу та структури речовин. Саме тому метою даної роботи є визначення методом раманівської спектроскопії впливу легування міддю на характеристики плівок оксиду цинку.

Метод спрей-піролізу був використаний для нанесення тонких плівок легованого матеріалу з молекулярних розчинів. В якості вихідних речовин використано водні розчини $Zn(CH_3COO)_2$ та $CuCl_2$. Отримані прекурсори були змішані у відповідних пропорціях, утворюючи прозорі молекулярні розчини з концентрацією міді по відношенню до цинку 0, 1, 2, 3, 5 та 7 %. Раманівські спектри нанесених зразків вимірювались на приладі Horiba MTR XP100 в частотному інтервалі (50-1400) cm^{-1} .

Встановлено, що в досліджених спектрах спостерігається ряд інтенсивних ліній на частотах зміщення 439, 561, 786 та 1101 cm^{-1} . Крім того в спектрах можна помітити слабкі піки при частотах 330 та 994 cm^{-1} . За літературними даними ці лінії можуть бути інтерпретовані як фононні моди $E_2^{high}-E_2^{low}$, E_2^{high} , $A_1(LO)$, $LA+TO$, $2TO$ та $2LO$.

Присутність у спектрах від досліджених зразків фононної моди E_2^{high} , характерної для вюрцитної фази ZnO, свідчить про те, що нанесені плівки мають гексагональну структуру. Виражених відмінностей у спектрах раманівського розсіювання від нелегованої та легованих плівок не спостерігається. Піків, що відповідають сполукам CuO і Cu_2O у спектрах легованих зразків не виявлено. Ці результати відповідають даним дифрактометрії про те, що нанесені плівки є однофазними зі структурою сфалериту.

Слід зазначити, що при введенні Cu як домішки спостерігається зміна інтенсивності та положення деяких раманівських піків. Це може свідчити про структурні зміни в кристалічній ґратці ZnO внаслідок включення атомів Cu. Зокрема, послаблення піків може свідчити про збільшення дефектності матеріалу або зміну його електронної структури внаслідок легування.



ELECTROPHYSICAL PROPERTIES AND THERMAL CONDUCTIVITY OF COMPOSITE BASED ON ZINC OXIDE AND REDUCED GRAPHENE OXIDE

**Vasyl Pakosh¹, Borys Turko¹, Vladyslav Vasil'ev¹, Bohdan Sadovyi^{1,2},
Volodymyr Kapustianyk¹**

¹Ivan Franko National University of Lviv, Drahomanova Str., 50, Lviv, 79005, Ukraine,

²Institute of High Pressure Physics PAS, 29/37, Sokolowska Str., 01-142, Warsaw, Poland,

VASYL.PAKOSH@lnu.edu.ua

There is a problem with effective heat removal from heat-generating working elements of electronic devices, in particular processors, chipsets, computer video accelerators, high-power LEDs and lasers. If heat is not removed, this can lead not only to a significant deterioration in the performance of devices, but also to their failure. To remove heat from the heat-generating working elements of electronic devices, thermal greases are widely used, which consist of a substance in a liquid state (for example, silicone oil, polyol, etc.) and a wide variety of fillers-thickeners (for example, Ag, SiO₂, ZnO, BN, AlN, Al₂O₃, graphite, graphene, carbon nanotubes, diamonds, etc.).

The thermal conductivity of the composite materials based on the commercial ZnO micropowder with reduced graphene oxide (1 vol. %) powder dispersed in the polymethylsiloxane (silicone oil) was measured using the radial heat flow method. The thermal conductivity of the composite material based on the commercial ZnO micropowder with an average particle size of 50 μm and reduced graphene oxide was found to be 9.4 W/(m·K). At room temperature, the values of the dielectric permittivity at the measuring electric field frequencies 50 Hz and 1 MHz and the specific volume electrical resistance for the composite was obtained. An increase in the values of the coefficient of thermal conductivity and dielectric constant and a decrease in the specific volume resistance due to a change in the volume fraction of reduced graphene oxide in the composite from 0.5 vol. % up to 1 vol. % are associated with the physical properties of reduced graphene oxide ($\alpha = 2600$ W/(m·K), $\varepsilon = 1130$ ($\nu = 50$ Hz), $\rho = 1.4 \cdot 10^{-2}$ Ohm·cm), Maxwell–Wagnare–Sillars interfacial polarization and more formation of the micro-capacitor structures [1].

The high performance of rGO-ZnO composite synthesized by a simple and facile process in this work shows promising potential in thermal control of the electronic devices.

This work was done due to the supports of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Project No: 0123U101880) and Long-Term Funding by the Polish Academy of Sciences and U. S. National Academy of Sciences (Project No: PAN.BFB.S.BWZ.369.022.2023).

[1] B. Turko, V. Vasil'ev, V. Kapustianyk, *Nanosistemi Nanomater. Nanotehnologii*, **21**, 569 (2023).



ВПЛИВ ЛЕГУВАННЯ ІНДІЄМ НА СТРУКТУРНІ ТА ОПТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛІВОК ZnSe, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ТЕРМІЧНОГО ВАКУУМНОГО ВИПАРУВАННЯ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В ЕЛЕКТРОНІЦІ

**Віталій Васильєв^а, Максим Іващенко^а,
Анатолій Опанасюк^а**

^аСумський державний університет, м. Суми, вул. Харківська, 116,
v.vasylyev@ekt.sumdu.edu.ua

Швидкий розвиток електроніки нерозривно пов'язаний із розробкою, освоєнням та використанням нових напівпровідникових матеріалів. Плівки селеніду цинку (ZnSe) в наш час розглядаються як перспективний матеріал для створення вікон сонячних елементів та детекторів випромінювання, що не містять кадмію (замість CdS), світлодіодів, тонкопліткових транзисторів, модуляторів лазерного випромінювання, п'єзореzonаторів, тощо. Однак, для практичного використання таких плівок у різних галузях промисловості необхідна оптимізація їх структурних, оптичних і електрофізичних характеристик, які, в свою чергу, визначаються фізико-технологічними умовами нанесення. Ефективним методом керування оптичними і електричними характеристиками ZnSe є його легування різноманітними домішками. Для покращення провідності селеніду цинку, який звичайно має електронний тип провідності, в матеріал звичайно вводять таку домішку як індій (In), при цьому як було показано в [1] вона суттєво покращує фізико-хімічні властивості даної сполуки.

Метою даного дослідження було вивчення впливу легування селеніду цинку індієм на структурні та оптичні характеристики плівок для визначення можливості їх подальшого використання у виробництві активних електронних пристроїв, а саме фотодетекторів. Плівки чистої та легованої In сполуки були отримані на скляних неорієнтованих підкладках методом термічного вакуумного випарування шихти у квазізамкненому об'ємі (КЗО). Нанесення тонких шарів проводилося при різних температурах підкладки $T_s = (373 - 873)$ К та сталій температурі випарника $T_e = 1073$ К. Час випарування плівок t_e складав 1 хвилину.

Дослідження морфології поверхні зразків проводилося з використанням скануючого електронного мікроскопу SEO-SEM Inspect S50-B. Оптичні характеристики отриманих конденсатів вивчалися з використанням двопроменевого спектрометра SPECORD plus 200 в діапазоні довжин хвиль від 300 до 900 нм. Знімалися, як спектри відбиття, так і спектри пропускання світла.

З використанням отриманих спектрів були розраховані спектри поглинання плівок ZnSe. В подальшому, для визначення ширини забороненої зони матеріалу нами будувалися залежності в координатах Таука. Аналіз одержаних даних свідчить, що E_g селеніду цинку, змінюється в діапазоні від 2,50 до 2,67 еВ. Ці значення узгоджуються з літературними даними для плівок ZnSe, виготовлених іншими методами.

З мікрображень, отриманих методом електронної мікроскопії, видно, що плівки ZnSe мають однорідну та щільну структуру з чітко окресленими зернами. Розмір зерна становить приблизно 100 нм. На поверхні плівок не було виявлено таких дефектів, як тріщини чи пори. Структурні та оптичні характеристики одержаних плівок відповідають вимогам, що висуваються до активних шарів детекторів, це робить їх перспективним матеріалом для створення електронних приладів.

[1] S.N. Moger, M.G. Mahesha, Thin Solid Films, **31**, 139492 (2022).



THE FIGURE OF MERIT OF Ag FILMS ON Ge UNDERLAYERS

A. Huk, I. Pylypiv

Lviv National University named Ivan Franko,

Universytetska-street 1, Lviv

ANASTASIIA.HUK@lnu.edu.ua , pylypiv97@gmail.com

Electron transport in nano-sized metal layers under electromagnetic radiation are subject of modern micro-, nanoelectronics and transparent electronics industries [1]. Metal films are perspective as ohmic conductors with high optical transparency, both in the visible and in infrared wavelengths. They can be used as transparent electronics conductors because they have more stable temperature and structural properties compared to alternative materials (ITO). Since thin metal layers can be both in continues and disperse phase (island structure) state, their properties can change in a wide range of thickness. The transition thickness from disperse to ohm conduction state is named critical percolation thickness d_c . At the region of critical transition, metal condensate exhibits abnormal optical and electrical properties that can be explained within the percolation model [2-3]. The controlled formation of silver's nanosize stable metallic films near percolation thicknesses d_c will solve the problem of transparent nanomaterials for electronics. By percolation threshold ($d < 5-10$ nm) metal condensate can provide high ohm conductivity ($\sigma < 10^8$ ($\Omega \cdot m$)⁻¹) and extremely high optical transparency ($T \sim 85-90\%$).

The Ag metal films with thickness 5 nm and 10 nm were deposited at 78 K on bare glass substrate and glass substrate pre-coated with Ge underlayers with different range thicknesses 0,1-1 nm appropriately. All preparations were conducted under high vacuum condition ($P \sim 10^{-7}$ torr) under “quench condense” regime [1]. Mass thickness of Ag films was controlled by the shift of quart oscillator resonance frequency. The resistance of the samples under investigation was measured by the two-probe method using UT61E. Shimadzu UV-3600 was used for transmittance T and reflectance R spectra analysis.

The transmittance size dependence analysis of Ag films (for 900 nm, 1000 nm, 1500 nm, and 1700 nm wavelengths) deposited on glass substrate pre-coated with Ge underlayers with different mass thickness were showed. The value of percolation mass thickness d_{Ge} for 5 nm Ag film is $\sim 1,2$ nm of Ge and for Ag samples of 10 nm, it's $\sim 0,83$ nm of Ge thickness. It was found that figure of merit of investigated silver films is size dependence curve with maximum in the vicinity of percolation threshold. The absorption of Ag films also showed the existence of maximum absorption near percolation threshold. It was found that for Ag 5 nm film deposited on glass substrate the absorption at maximum is 0,52 for Ge underlayers $d_{Ge}=0,8$ nm at $\lambda = 440$ nm and 0,56 for Ge underlayers $d_{Ge}=0,2$ nm at $\lambda = 858$ nm for Ag films of 10 nm. We consider the higher concentration of isolated metal islands on substrate surface, the higher concentration of electrons participate in plasmon resonance, which increase absorption of dispersed metal film [3] near percolation thicknesses.

[1] R.I. Bihun, Z.V. Stasyuk, I.I. Syvorotka, V.M. Gavryluk, M.D. Buchkovs'ka, B.P. Koman, D.S. Leonov, in: Metallophysics and Advanced Technologies, (2021), V. 43, №11, p. 1431-1441.

[2] P. Smilauer, in: Contemporary Physics, (1991), V. 32, № 2. p. 89-102.

[3] Houchao Zhang and others, in: Int. J. Extrem. Manuf, (2023), p. 1-50.



РАДІАЦІЙНІ ЕФЕКТИ В ТЕРМОХРОМНИХ ПОЛІМЕРНИХ МІКРОКОМПЗИТАХ НА ОСНОВІ КРИСТАЛІВ $[\text{NH}_2(\text{C}_2\text{H}_5)_2]_2\text{CuCl}_4$

**В. А. Давидович, Ю. В. Чорній, В. А. Коломієць, А. М. Грицак,
В. Б. Капустяник**

Фізичний факультет, Львівський національний університет імені Івана
Франка, вул. Драгоманова, 50, 79005, Львів, Україна

Вирощені з водного розчину кристали диетиламонію тетрахлокоупрату $[\text{NH}_2(\text{C}_2\text{H}_5)_2]_2\text{CuCl}_4$ (DEACC) зазнають чіткого стрибкоподібного термохромного фазового переходу при 311 К (при нагріванні), який супроводжується різкою зміною забарвлення зразка від насиченого зеленого до блідо-жовтого, пов'язаного зі зміною координації іонів міді. Високотемпературна фаза характеризується спотвореним тетраедричним оточенням іона міді, тоді як у низькотемпературній фазі співіснують тетраедричне та плоско-квадратне оточення [1-3].

Досліджено спектри поглинання мікрокристалів DEACC, вбудованих у полістирольну матрицю. Вивчено вплив низькоенергетичного Х-випромінювання на термохромні властивості цього мікрокомпозита. Встановлено, що цей композит із середнім розміром мікрокристалів 200 мкм має термохромні властивості, подібні до властивостей об'ємного кристала, хоча його стрибкоподібний термохромний фазовий перехід зміщений у бік вищих температур відносно об'ємного кристала. Це зміщення пояснюється напруженням, що виникає на межі розділу між полістирольною матрицею та мікрокристалом. Іонізаційне випромінювання викликає значно помітніші зміни термохромних властивостей мікрокомпозитів порівняно з монокристалом під впливом аналогічних доз опромінення [4]. Вплив полягає в нетривіальній залежності температури термохромного фазового переходу, отриманої з петель гістерезису $D(T)$, від дози опромінення.

При малих дозах Х-випромінювання температура фазового переходу зростає завдяки механізму, подібному до монокристала, а саме: розривом та перебудовою водневих зв'язків за участю аніонних тетраедричних комплексів, що приводить до їхньої перебудови до плоско-квадратної форми. При досягненні певних критичних значень дози опромінення радіаційні зміни стають незворотними. Вони зумовлені насамперед розривом хімічних зв'язків на межі розподілу між матрицею та мікрокристалом, внаслідок чого температура термохромного фазового переходу починає знижуватись.

- [1] Bloomquist D. R., Pressprich M. R., Willett R. D. Thermochromism in copper (II) halide salts. 4. $[(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}_2]_2\text{CuCl}_4$, structure of the high-temperature phase and physical characterization of its two phases. *J. Am. Chem. Soc.* 1988; 110 (22):7391–7398.
- [2] Kapustyanyk V. B., Korchak Yu. M. Thermochromic phase transition in $(\text{NH}_2(\text{C}_2\text{H}_5)_2)_2\text{CuCl}_4$ crystals. *J. Appl. Spectrosc.* 2000; 67 (6):1045–1049.
- [3] Aldrich E. P., Bussey K. A., Connell J. R., et al. Crystal structure of the thermochromic bis (diethylammonium) tetrachloridocuprate (II) complex. *Acta Crystallogr. E Crystallogr Commun.* 2015; 72 (1): 40-43.
- [4] Chornii Yu., Hrytsak A., Kapustianyk V. Radiochromic effect in the polymer composites based on $[\text{NH}_2(\text{C}_2\text{H}_5)_2]_2\text{CuCl}_4$ microcrystals. *J. Phys. Studies.* 2023 27(4) Art. 4701. 8p.



EFFECT OF DOPANT CONCENTRATION AND CRYSTALLINE STRUCTURE ON ABSORPTION EDGE OF ZNO:B FILMS

Danylo Honchar¹, Borys Turko¹, Vladyslav Vasil'ev¹, Bohdan Sadovyi^{1,2}, Yuriy Eliyashevskiy¹, Yuriy Kulyk¹, Volodymyr Kapustianyk¹

¹Ivan Franko National University of Lviv, Drahomanova Str., 50, Lviv, 79005, Ukraine,

²Institute of High Pressure Physics PAS, 29/37, Sokolowska Str., 01-142, Warsaw, Poland,

Danylo.Honchar@lnu.edu.ua

The semiconductor materials based on ZnO are considered as the best alternative to indium tin oxide, since they are much cheaper and non-toxic [1]. For example, ZnO:Al films possess the transmittance coefficient of approximately 90 % in a visible region and are almost not inferior to ITO films by the value of resistivity ($\sim 10^{-4}$ Ohm·cm) [1]. The numerous companies around the world are involved into production of the transparent electrically conductive ZnO-based oxides for the needs of electronics (for example, “TEL Solar” or “NEXTECK”). The transparent conductive ZnO-based oxides are usually obtained by doping with group-III elements such as In, Al, Ga and Y. On the other hand, the number of publications devoted to study of the properties of boron-doped zinc oxide films is not very large. For the optimal application of ZnO:B films, it is necessary to have in-depth knowledge and understanding of their structure, optical and electrical properties. Unfortunately, one can hardly find any literature data concerning the optical properties of ZnO films with different levels of boron doping obtained with a standard radio-frequency (RF) magnetron sputtering technique.

The films of ZnO and ZnO:B (1 and 2 wt. % B) were obtained by RF magnetron sputtering on the glass substrates without targeted heating. According to the ellipsometry measurements data, the thickness of the films was about 0.6 μm . The crystalline structure and the absorption spectra of these films were investigated. No diffraction peaks which would be associated with the presence of boron or its oxides in any of the investigated film were found. The average crystallite sizes, the dislocation density and the microstrains in the films have been calculated from the X-ray diffraction data.

We observed a blue shift of the absorption edge in ZnO:B films in respect of the undoped one. On the basis of the optical absorption spectra of ZnO:B films there were determined the approximate optical bandgaps: $E_g \approx 3.24$ eV, 3.28 eV and 3.38 eV respectively for the boron concentrations 0, 1 and 2 wt. %. The concentration of free charge carriers in ZnO:B films was found to be of the order of 10^{19} cm^{-3} . We demonstrate that the blue shift of the fundamental absorption edge in the ZnO:B films with increasing of impurity concentration is explained by the Burstein–Moss effect.

This work was done due to the supports of the Ministry of Education and Science of Ukraine (Project No: 0123U101880) and Long-Term Funding by the Polish Academy of Sciences and U. S. National Academy of Sciences (Project No: PAN.BFB.S.BWZ.369.022.2023).

[1] M. Singh, F. Scotognella, *Micromachines*, **14**, 536 (2023).



ВПЛИВ МЕТОДИКИ ОТРИМАННЯ НА МАГНІТОРЕЗИСТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ СИСТЕМИ [Ni₈₀Fe₂₀/SiO₂]_n/П

Сергій Долгов-Гордійчук, Влад Жаботинський, Олександр
Пилипенко, Ірина Пазуха

Сумський державний університет, вул. Харківська 116, м. Суми, Україна

e-mail: dolgov-gordijchuk.sergij@student.sumdu.edu.ua

Методика формування нанорозмірних композитних матеріалів типу феромагнітний-метал діелектрик (FM-I) – один з ключових факторів, що визначає їх магнітотранспортні властивості, оскільки природа магніторезистивного ефекту суттєвим чином залежить від розмірів та форми феромагнітних частинок, їх об'ємної частки та ширини діелектричних каналів. Також важливим є той факт, що самоорганізація гранульованого середовища в процесі росту плівкових композитних матеріалів – достатньо складний процес, який суттєвим чином залежить від багатьох технологічних параметрів. З точки зору практичного застосування перед дослідниками стоїть задача зменшення розміру частинок для збільшення їх щільності, а також досягнення рівномірного розподілу феромагнітних наночастинок для контролю їх властивостей.

У роботі проведено дослідження впливу методу пошарової конденсації для отримання композитних матеріалів FM-I на їх магніторезистивні властивості. З метою вирішення поставленої задачі були отримані дві серії зразків: 1) [Ni₈₀Fe₂₀(*d*)/SiO₂(5)]₅/П (*d* = 2-8 нм) – метод отримання пошарове електронно-променево осадження у вакуумі (тиск газів залишкової атмосфери 10⁻⁷ Торр; 2) [Ni₈₀Fe₂₀(*d*)/SiO₂(3)]₁₀/П (*d* = 2-8 нм) – метод отримання пошарове RF магнетронне розпилення (тиск газів залишкової атмосфери 10⁻⁷ Торр; у процесі осадження камеру заповнювали Ar при сталому тиску 3 мТорр). Для визначення впливу термообробки зразків на характер і величину магніторезистивного ефекту, зразки обох серій відпалювалися до температур *T* = 400, 500, 600 та 700 К.

Встановлено, що для всіх свіжосконденсованих зразків, незалежно від методу отримання, в інтервалі товщин шарів феромагнітного шару *d* = 2-8 нм спостерігається анізотропний характер польових залежностей магнітоопору (МО), максимальне значення якого складало 0,15 %. Причиною того, що величини МО досить малі, є велика дефектність шарів феромагнітного матеріалу після конденсації, що може спричинити зменшення їх намагніченості. Після відпалювання до 500 К зразків, отриманих методом електронно-променевого осадження, при *d* = 3-5 нм відбувається перехід від анізотропного до ізотропного МО, в той час як для зразків отриманих методом пошарового магнетронного розпилення даний перехід спостерігався при відпалюванні зразків з ефективними товщинами феромагнітного матеріалу *d* = 2-6 нм вже за температури відпалювання 400 К. Зазначений перехід супроводжується зміною знаку поздовжнього магнітоопору. Причиною виникнення цього переходу є той факт, що домінуючим механізмом провідності стає спін-залежне тунелювання носіїв заряду крізь діелектричні канали між феромагнітними наночастинами. У випадку високотемпературної термообробки за *T* = 700 К, ізотропний характер залежностей МО(*B*) спостерігався тільки для зразків серії [Ni₈₀Fe₂₀(*d*)/SiO₂(5)]₅/П при *d* = 5 нм.



OBTAINING MODIFIED $\text{La}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{MnO}_3$ FOR CATHODES OF FUEL CELLS

Halyna Kolkovska¹, Pavlo Kolkovskyi², Andriy Soltys¹,
Ivan Yaremiy¹, Bohdan Rachiy¹, Nataliia Ivanichok³

¹Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine,
galyna.godovska@gmail.com

²V.I. Vernadsky Institute of General and Inorganic Chemistry, National
Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

³Joint Educational and Scientific Laboratory of the Physics of Magnetic Films,
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine

Solid-oxide fuel cells are efficient devices for the conversion of chemical to electrical energy and a typical solid-oxide fuel cell consists of a solid electrolyte, cathode, and anode. In the last few decades, considerable attention is drawn to works on obtaining and researching perovskites based material for cathodes of fuel cells.

Therefore, $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_{3-\delta}$ is promising cathode materials for solid oxide and polymer fuel cells due to their resistance to high temperatures and high electron/ion conductivity. In the present study, a modified Pechini method was adopted to prepare $\text{La}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{MnO}_3$ nanocrystals [1].

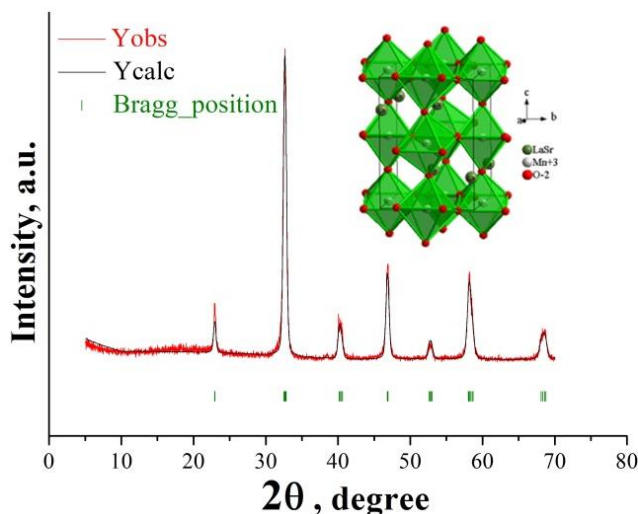


Fig. 1. The diffractograms of $\text{La}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{MnO}_3$ material, and model of $\text{La}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{MnO}_3$ crystal structure (view along the C axis) (insert)

According to experimental X-ray diffraction data (Fig. 1), it was established that $\text{La}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{MnO}_3$ with a perovskite structure has an orthorhombic (Pnma) lattice. The model of the $\text{La}_{0.85}\text{Sr}_{0.15}\text{MnO}_3$ crystal structure (view along the A axis) shows that the Mn cation is in an octahedral environment of O_2 anions. Therefore, La ions are located between equally oriented octahedral ones. The lattice constant of the synthesized material is $a = 5.5368 \text{ \AA}$, $b = 5.5539 \text{ \AA}$, $a/b = 0.9969 \text{ \AA}$, $b/c = 0.7166 \text{ \AA}$ the volume $Z = 4$. According to X-ray data, the density of the material is $\rho = 6.54 \text{ g/cm}^3$. The average size of coherent scattering regions is 18.

[1] R. Del Toro, P. Hernández, Y. Díaz, J.L. *Materials Letters*, **107**, 231 (2013).

Funding: This work was funded by the NATO Partnerships and Cooperative Security Committee in the framework of the Science for Peace and Security Programme (G6166).



НЕЕКВІВАЛЕНТНІСТЬ МІЖАТОМНОЇ СИЛОВОЇ ВЗАЄМОДІЇ І ЇЇ ПРОЯВ ПРИ ПРОВЕДЕНІ МОДЕЛЬНИХ РОЗРАХУНКІВ ФОНОННИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ КРИСТАЛІВ ВаТіО₃

А. Корнейчук, А. Герасименко, І. Небола

Ужгородський національний університет, вул. Підгірна, 46,

Ужгород 88000, Україна

e-mail: andrii.korneichuk@uzhnu.edu.ua

Серед різновидів узагальненої симетрії концепція надпросторової симетрії [1] є досить зручною і наглядною при побудові (3+d) мірних моделей опису структури складних кристалів та систем, об'єднаних єдиною метрикою і масштабом функції носія протокристалу. Формування (3+d) мірної метрики протокристалу базується на його вищій симетрії та пов'язане з додатковим d-мірним простором, що дозволяє проводити опис реальних об'єктів (кристалів та систем) як природних (sa×sa×sa) - надграток [2,3]. Використання повної сукупності векторів модуляції дозволяє визначити амплітуди масових модуляційних функцій і на їх основі згенерувати узагальнену динамічну матрицю у вигляді суперпозиції динамічних матриць протокристалу, визначених у різних точках зони Бріллюена (ЗБ), пов'язаних векторами модуляції, та матриці масового збурення, що описується амплітудами масових модуляційних функцій.

Композиційні особливості реалізації складних кристалів та систем за механізмом заповнення атомами різного сорту та вакансіями, трансляційно еквівалентних позицій, заданих базисом протокристалу, охоплюються концепцією надпросторової симетрії [3]. Дисперсійні криві фононного спектру складних кристалів визначаються як розв'язки матричного рівняння:

$$\left| D_{\alpha\beta}(k+q_i) - \omega^2 \delta_{\alpha\beta} \delta_{ij} - \omega^2 \rho_{(i-j)} \delta_{\alpha\beta} \right| = 0 \quad (1)$$

де $D_{\alpha\beta}(k+q_i)$ - динамічні матриці одноатомного протокристалу (ПКГ), визначені у $(k + q_i)$ точках ЗБ для кристала ВаТіО₃: ($i=1, \dots, 8$) - в базисі $(2a \times 2a \times 2a)$, $\rho_{(i-j)} = \rho_i(q_i, \Delta^* b_{ij}^*)$ - амплітуди масової модуляційної функції, задані для векторів модуляції $(q_i - q_j)$, α, β - x, y, z, k - хвильовий вектор, q_i - вектори модуляції [2,3].

Показано, що в залежності від вибору еквідистантного [3,4] і нееквідистантного наближення для силових постійних α_n розраховані модельні фононні спектри кристалів ВаТіО₃ що задовільно описують значення експериментальних даних в центрі зони Бріллюена ($G(\Gamma)$). В той же час розрахунки в еквідистантному наближенні приводять до не фізичного п'ятикратного виродження в точці R (значення біля 25 ТГц), яке знімається при переході до нееквівалентного наближення.

[1] T.Janssen, J. Phys. C: Solid State Phys **12**, 5381, (1979).

[2] I. I. Nebola, A. F. Ivanyas, V. YA. Kindrat, Sol. St. Phys., 35 (7), 18521866 (1993).T.

[3] I.I.Nebola, A.Ya.Shteyfan, V.I.Sidey, A.F.Katanytsia, I.P.Studenyak, I.M Shkyrta, *SPQEO*, **21**, 134, (2018).

[4]

<https://maple.cloud/app/5753562177994752/Modeling+of+dispersions+of+phonon+spectra>



ЕЛЕКТРОННА СТРУКТУРА НАНОКЛАСТЕРІВ (ZnO)₁₂, ЛЕГОВАНИХ АТОМАМИ In, Al, Ga

**Богдан Левченко, Віктор Дзіковський, Марія Коваленко,
Олег Бовгира**

Фізичний факультет, Львівський національний факультет імені Івана
Франка, вул. Кирила і Мефодія, 8 79005 Львів, Україна
mariya.kovalenko@lnu.edu.ua

На сьогоднішній день, оксид цинку (ZnO) є одним із найважливіших напівпровідників для різних застосувань у нанопристроях завдяки своїм унікальним властивостям: широка заборонена зона (3,44 еВ за 4,2 К), велика енергія зв'язку екситонів (60 меВ) за кімнатної температури, прозорість у видимій області світла, нетоксичність та біосумісність. Крім того, ZnO має одне з найбагатших сімейств наноструктур на його основі, включаючи нанодропи, нанотрубки, нанострічки, нанокільця, нанокластери тощо. Як відомо, легування є важливим і ефективним методом для покращення оптичних, електричних і сенсорних властивостей металоксидних напівпровідників. Легуючі домішки змінюють властивості, змінюючи структуру енергетичних зон і морфологію металоксидного напівпровідника.

Серед широкого розмаїття наноструктур фулереноподібні нанокластери привертають увагу, оскільки їхні унікальні властивості роблять їх придатними для різних застосувань, включаючи фотовольтаїчні сонячні елементи, газові датчики і фотокаталіз. Попередні дослідження показують, що нанокластери (ZnO)₁₂ є найбільш стабільною порожнистою структурою для малого кластера і були успішно синтезовані. В цій роботі ми представляємо результати розрахунків структурних та електронних властивостей нанокластерів (ZnO)₁₂, легованих атомами In, Al та Ga.

Усі розрахунки, включаючи оптимізацію геометрії, електронні спектри і розподіли густини станів, виконані для чистих і легованих атомами In, Al та Ga нанокластерів (ZnO)₁₂ в межах DFT в програмному пакеті CASTEP. Для опису обмінно-кореляційної енергії електронної підсистеми обрано наближення GGA (PBE) з поправками Габбарда (GGA+U). Усі досліджувані нанокластери були поміщені в кубічну елементарну комірку розміром 10 Å, щоб уникнути будь-яких взаємодій між найближчими сусідніми кластерами. Параметри структури були релаксовані за допомогою іонної оптимізації, застосовуючи ефективний алгоритм Бройдена-Флетчера-Голдфарба-Шанно.

Спочатку ми провели розрахунки для нелегованого нанокластера (ZnO)₁₂, які показали, що ширина забороненої зони становить 4,12 еВ і добре узгоджується з попередніми теоретичними дослідженнями, де використовувався функціонал V3LYP. Для домішкових структур ми розглянули п'ять різних позицій розташування атомів домішки у структурі нанокластера (ZnO)₁₂: атом домішки заміщений атомом Zn; атом домішки, заміщений атомом O; атом домішки, розташований над поверхнею чотирикутника; атом домішки, розташований над поверхнею шестикутника і атом домішки, розташований всередині нанокластера. Всі проведені розрахунки показують, що додавання атомів In, Al і Ga в структуру нанокластера (ZnO)₁₂ призводить до зміни структури кластера та електронного спектру порівняно з чистою структурою. На основі отриманих результатів бачимо, що такі кластери мають перспективу застосування у оптоелектронних пристроях.



ДОСЛІДЖЕННЯ МОРФОЛОГІЇ ПОВЕРХНІ ТОНКИХ ПЛІВОК $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Cr}$ і $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Mn}$

Іванна Медвідь, Марія Процак, Катерина Біляк, Богдан Бордун, Іван Бордун, Віктор Сорокін

Львівський національний університет імені Івана Франка,
факультет електроніки та комп'ютерних технологій,
м. Львів, вул. Драгоманова, 50, email: ivanna.medvid@lnu.edu.ua

Завдяки хорошим оптичним, діелектричним та експлуатаційним властивостям тонкі плівки на основі галату цинку широко застосовуються в оптоелектроніці та приладобудуванні, зокрема, широко використовуються у вакуумних флуоресцентних та польово-емісійних дисплеях, газових сенсорах та електронно-оптичних пристроях. Властивості оксидних тонких плівок можуть змінюватися залежно від методів їх отримання, а також, від подальших технологічних процесів, таких як введення домішок та термообробка. Тонкі плівки $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Cr}$ та $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Mn}$ товщинами 0,4–1,0 мкм отримувалися ВЧ іонно-плазмовим розпиленням на аморфних підкладках з плавненого кварцу $\nu\text{-SiO}_2$. Вихідною сировиною для одержання тонких плівок була суміш оксидів ZnO та Ga_2O_3 стехіометричного складу марки ОСЧ (особливо чисті). Концентрація активатора Cr^{3+} та Mn^{3+} становила 1 мас. %. Після нанесення плівок проводилась їх термообробка в атмосфері повітря при 1000–1100 °С. Рентгенодифракційні дослідження плівок показали наявність полікристалічної структури. Морфологія поверхні отриманих тонких плівок досліджувалася з використанням АСМ мікроскопа «INTEGRA TS-150», зображення поверхні плівок реєструвалися у напівконтактному режимі. Дослідження морфології поверхні проводилось для плівок $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Cr}$ без термообробки та відпалених в атмосфері повітря, а також тонких плівок $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Mn}$, відпалених в атмосфері повітря. Дані аналізувалися з поверхні розміром 5×5 мкм. Отримані результати показали, що значення середньої квадратичної шорсткості поверхні для тонких плівок $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Cr}$ без термообробки становить 9,6 нм, для плівок $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Cr}$, відпалених в атмосфері повітря спостерігається зменшення даного параметра, який становить 4,4 нм. Для плівок $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Mn}$ після термообробки в атмосфері повітря значення середньої квадратичної шорсткості поверхні становить 6,2 нм. Дослідження морфології поверхні тонких плівок $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Cr}$ та $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Mn}$ показало, що відпал тонких плівок приводить до зміни морфології поверхні досліджуваних зразків і, що значення температури відпалу є важливим параметром для зміни кристалічних властивостей плівок галату цинку.

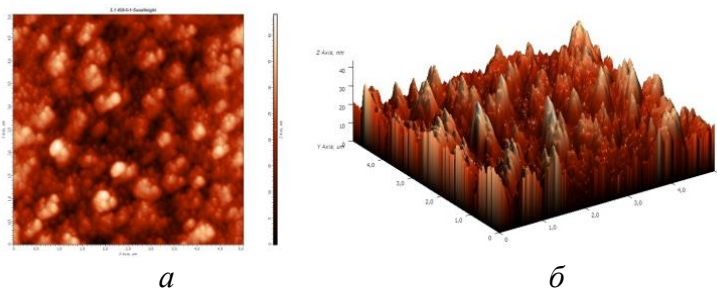


Рис. 1. Зображення морфології поверхні тонких плівок $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Mn}$ після термообробки в атмосфері повітря. Зображення *a*– двовимірне, *б*– тривимірне.



ОСНОВИ ОДЕРЖАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ СОРБЕНТІВ

А. Солтис, С. Климкович, Т. Бедрій, С.-В. Склепова, О. Винничук
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника,
вул. Шевченка, 57, Івано-Франківськ, 76018, Україна
andrii.soltys.22@pnu.edu.ua

За своєю структурою активований вуглець є неграфітовим вуглецевим матеріалом, майже будь-який такий твердий матеріал можливо перетворити на нього. Таким чином, існує безліч можливих сировинних матеріалів, таких як деревина, лігноцелюлозна біомаса, торф, лігнін і вугілля, які можна використовувати для виробництва активованого вуглецю. Однак існують деякі обмеження. Оскільки активований вуглець є неупорядкованим та ізотропним, сировину не можна пропускати через рідкий або псевдорідкий стан, так як тверда структура прагне до трансформації в упорядковану структуру.

На практиці вихідна сировина є недорогим матеріалом з високим вмістом вуглецю і низьким вмістом неорганічних речовин. Властивості продукту залежать від прекурсору, а отже, вуглець може бути адаптований для певних застосувань. Крім того, на властивості отриманого активованого вуглецю також значною мірою впливає процес активації.

В загальному випадку, процес синтезу матеріалу можна розбити на такі етапи: підготовка, карбонізація та активація (хімічна, термічна). Карбонізація - це термічна деградація вуглецевого матеріалу (вугілля, лігніну, деревини, полімеру тощо) в інертній атмосфері, де відбувається повна або часткова деволатилізація сировини. На цьому етапі починає формуватися мікропориста структура. Вихідний матеріал, що має органічну макромoleкулярну структуру, під час термічної обробки розкладається на газоподібну частину, багату на водень, легкі вуглеводні та смоли, і тверду частину, багату на вуглець. Гази і пари, які першими виділяються з твердої фракції, є первинними продуктами. Продукт, отриманий на етапі карбонізації, має лише початкову пористу структуру і не може бути використаний як адсорбент, якщо ця пориста структура не буде посилена, покращена або "активована". Термічна активація полягає в частковому окисленні вуглецю паром, вуглекислим газом або повітрям. Ці газы реагують з атомами вуглецю і видаляють частину маси з внутрішньої поверхні твердого тіла, в мікропорах, що зароджуються, створюючи добре розвинений мікропористий матеріал.

Термічна активація зазвичай дає адсорбенти з середньою і високою адсорбційною здатністю, середнім розподілом мікропор за розміром і без утворення мезопор (за винятком випадків високого ступеня вигорання, коли мікропори можуть бути великого розміру). При активації фосфорною кислотою утворюється вуглець з вищою адсорбційною здатністю, ніж при термічній активації, і ширшим розподілом мікропор за розміром (навіть у діапазоні низьких мезопор), тоді як при активації КОН утворюється вузькопористий вуглець з надзвичайно вузькими мікропорами.



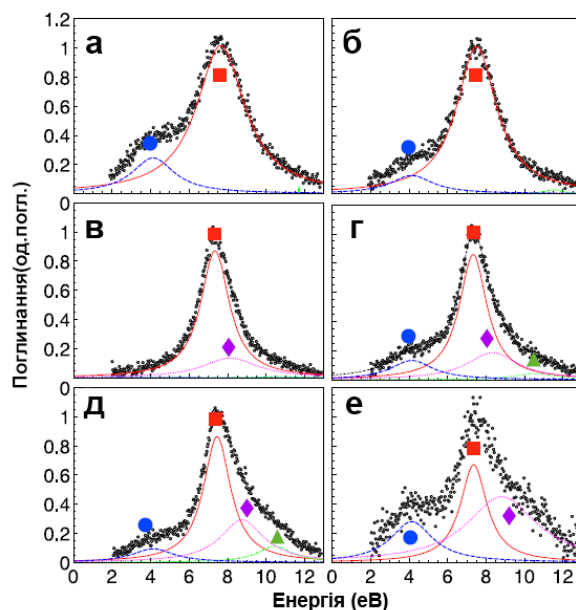
ВПЛИВ ПЛАЗМОННИХ ЗБУДЖЕНЬ НА ПОГЛИНАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ УЛЬТРАТОНКИХ МЕТАЛЕВИХ ПЛІВОК НА ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ПІДКЛАДКАХ

Данило Чічерін

Національний університет «Запорізька політехніка», вул. Жуковського, 64,
69063 Запоріжжя, Україна, chicherindanylo@gmail.com

Останніми роками відбувся стрімкий розвиток плазмоніки, зумовлений тим, стала відомою суттєва залежність їх властивостей від розмірів, форми та діелектричного оточення металевих наноструктур, на яких вони відбуваються. В такому контексті, розглянемо металеві наноплівки, розміщені на діелектричних підкладках, а точніше вплив плазмонних збуджень на властивості цих структур.

Для прикладу візьмемо структуру з плівкою Mg на підкладці Si [1]. Визначення впливу плазмонних збуджень на поглинальні властивості структури було досліджено спектроскопією втрат енергії електронів (EELS). Різні дані було отримані при розсіюванні зондуєчих електронів під певними позаосьовими кутами $\Delta\theta$. В результаті маємо спектри втрат енергії електронів плівки на рис. 1. Кольорами відповідно позначені впливи поверхневих плазмонів (червоне), багатополосних поверхневих плазмонів (фіолетове), об'ємних плазмонів (зелене) і порогових резонансів (синє) на спектри поглинання.



а – $\Delta\theta = -4^\circ$; б – $\Delta\theta = -2^\circ$; в – $\Delta\theta = 4^\circ$; г – $\Delta\theta = 6^\circ$; д – $\Delta\theta = 12^\circ$; е – $\Delta\theta = 14^\circ$

Рисунок 1 – Експериментальні вимірювання спектрів поглинання плівки

Із цього слідує, що плазмонні збудження у металевих плівках суттєво посилюють їх поглинальні властивості, що потенційно можна використати для підвищення чутливості фотодетекторів, сенсорів та ефективності сонячних елементів.

[1] Xiaoguang Li, Ao Teng, Mustafa M Özer, Jian Shen, Hanno H Weiering, Zhenyu Zhang, New J. Phys., (2014), V. 16, 065014



ВПЛИВ ІЗОВАЛЕНТНОЇ ЗАМІНИ КАТІОНІВ Bi НА КАТІОНИ Sm НА КРИСТАЛІЧНУ СТРУКТУРУ ТА ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОКОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ФЕРИТУ ВІСМУТУ

А. Яремкевич, М. Раллев, Є. Леоненко, О. Фесенко, Г. Морозовська
Інститут фізики НАН України

Найбільш унікальними властивостями феритів вісмуту є наявність у них значних магнітних та електричних властивостей при кімнатній температурі. На сьогоднішній день, для покращення сегнетоелектричної та магнітоелектричної поведінки наноконкомпозитів на основі феритів вісмуту широко вивчаються ефекти заміни катіонів Bi катіонами інших рідкоземельних елементів з близьким іонним радіусом, подібним типом і розміром кристалітів тощо [1]. У роботі представлено дослідження впливу легування фериту вісмуту невеликою кількістю катіонів Sm на кристалічну структуру та оптичні властивості наноконкомпозитів на основі BiFeO_3 .

Результати ІЧ-спектроскопії показали, що ферити BiFeO_3 та SmFeO_3 характеризуються класичними спектрами чистих речовин, а смуги при 1072 і 812 см^{-1} для BiFeO_3 пов'язані з формуванням більш чистої однорідної кристалічної фази. Для SmFeO_3 спостерігається в області $600 - 400 \text{ см}^{-1}$ перекриття смуг Fe-O і Sm-O . При заміщенні Bi на Sm в ферит BiFeO_3 ($\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$) відбуваються зміни в ІЧ спектрах, які пов'язані з тим, що йони Sm^{3+} ($1,132 \text{ \AA}$) менші за йони Bi^{3+} ($1,365 \text{ \AA}$), внаслідок чого змінюється сингонія та параметри елементарної комірки і зменшується валентний кут Fe-O-Fe . Із спектрів можна припустити, що фазовий перехід відбувається при заміщенні 15% Bi на Sm ($\text{Bi}_{0,85}\text{Sm}_{0,15}\text{FeO}_3$), що узгоджується з теоретичними розрахунками фазових діаграм.

Згідно з аналізом теорії груп, чистий порошок BiFeO_3 повинен мати 13 активних коливальних мод Рамана ($4A_1 + 9E$), 11 з яких нам вдалося зафіксувати. При використанні зразків з SmFeO_3 було виявлено всі 12 смуг, що є характерними для зразків, виміряних при кімнатній температурі. Нами було відмічено, що при поступовому заміщенні атомів Bi у структурі BiFeO_3 відбувається гібридизація раманівських смуг з їх поступовим уширенням по мірі зростання концентрації атомів Sm . Зокрема, відмічається, що суттєвий перехід від структури BiFeO_3 до структури $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$ відбувається при концентрації Sm на рівні $15-20\%$.

Результати ІЧ- та Раман-спектроскопії узгоджується з теоретично змодельованими фазовими діаграми $\text{Bi}_{1-x}\text{Sm}_x\text{FeO}_3$, що отримані за використанням моделі чотирьох підгруп [2].

[1] A. Morozovska, O. Fesenko, A. Yaremkevich, T. Tsebrienko, O. Budnyk, L. Wang, A. Semchenko, V. Sidski Appl. Nanoscience, **13**, 7171 (2023)

[2] A. Morozovska, E. Eliseev, D. Chen, C. Nelson, S. Kalinin Phys. Rev. B, **99**, 195440 (2019).



ЕЛЕКТРОННА СТРУКТУРА ГІБРИДНИХ ОРГАНІЧНО-НЕОРГАНІЧНИХ ПЕРОВСЬКІТІВ

**Володимир Добрянський, Михайло Онисько,
Марія Коваленко, Олег Бовгира**

Фізичний факультет, Львівський національний факультет імені Івана
Франка, вул. Кирила і Мефодія, 8 79005 Львів, Україна

oleh.bovhyra@lnu.edu.ua

Гібридні органічно-неорганічні перовськіти привертають увагу дослідників завдяки своєму надзвичайному потенціалу в галузі опто- та фотоелектроніки. Ці матеріали поєднують органічні та неорганічні компоненти в кристалічній структурі, демонструючи низку привабливих властивостей, таких як ефективне поглинання світла, висока рухливість носіїв заряду та помірні ширини забороненої зони. Завдяки цим перевагам гібридні перовськіти розглядаються як багатообіцяючі кандидати для створення високоефективних фотовольтаїчних елементів, світловипромінюючих діодів, лазерів та фотодетекторів.

Глибоке розуміння електронної структури цих матеріалів є ключовим для розкриття фундаментальних механізмів, що визначають їх оптоелектронні властивості. Детальне вивчення розподілів електронних станів, впливу спін-орбітальної взаємодії та деформацій кристалічної ґратки дозволяє не лише пояснити спостережувані явища, але й відкриває шлях до раціонального дизайну та оптимізації нових складів гібридних перовськітів для цільових застосувань. Крім того, розуміння електронних процесів, таких як генерація, транспорт та рекомбінація носіїв заряду, є критичним для вирішення проблем стабільності та деградації, що обмежують комерційне впровадження цих матеріалів. Тому вивчення електронної структури гібридних органічно-неорганічних перовськітів є фундаментальним кроком у реалізації їх повного потенціалу в сучасних оптоелектронних технологіях.

У цій роботі представлено результати першопринципного дослідження структурних і електронних властивостей кристалічних перовськітів $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}(\text{I}_{1-x}\text{Br}_x)_3$ та $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}(\text{I}_{1-x}\text{Cl}_x)_3$ у різних кристалічних фазах в межах теорії функціонала густини (DFT). Метою теоретичного дослідження було проаналізувати та порівняти структурні параметри основного стану та поведінку електронного спектра органічно-неорганічних перовськітів з використанням найдоступніших методів в межах DFT, зокрема методики із поправками Габбарда (DFT+U). Оптимізацію геометрії структури та зонно-енергетичні розрахунки проведено в програмному пакеті CASTEP, для іонних потенціалів використано ультрам'які псевдопотенціали Вандербільта, електронні спектри та оптичні властивості розраховані з використанням різних наближень для обмінно-кореляційних функціоналів.

У випадку використання наближення GGA-PBEsol+U було досягнуто найкращого узгодження між теоретичними та експериментальними результатами. Із зростанням концентрації Br та Cl від 0.0 до 1.0 спостерігаємо зменшення параметрів ґратки, зростання ширини забороненої зони та підвищення стабільності кристалічних сполук, що пояснюється сильнішою гібридизацією p -станів Br та Cl із s -станами Pb, у порівнянні із станами I 5p. Встановлено також, що включення до розрахунку спін-орбітальної взаємодії є важливим для обчислення ефективних мас носіїв заряду.



ТРИБОЕЛЕКТРИЧНІ ГЕНЕРАТОРИ НА ОСНОВІ НАНОСТРУКТУРОВАНОГО ОКСИДУ ЦИНКУ

Аліна Федоненко^a, Володимир Сухов^a, Сергій Петрушенко^{ab}, Руслан Сухов^a, Сергій Дукаров^a

^aХарківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Фізичний факультет, площа Свободи 4, Харків

^bTechnical University of Liberec, Institute for Nanomaterials, Advanced Technologies and Innovation, Department of Advanced Materials, 460 01 Liberec, Czech Republic, Serhii.Petrushenko@tul.cz

Трибоелектричні наногенератори – пристрої, що здатні перетворювати механічне тертя в електричну енергію. Вони мають перспективи використання у різних сферах життя: медицина, електроніка, збір даних. Застосування функціональних структур на основі наноструктурованого оксиду цинку є перспективним способом створення таких пристроїв, однак на сьогодні ще недостатньо з'ясовано роль розмірного фактора у поведінці наноструктурованих трибогенераторів.

В роботі було розроблено та досліджено два прототипи гнучких трибоелектричних наногенераторів на основі наноструктурованих масивів ZnO, що осажені на вуглецеву тканину (CF). Було створено зразки двох типів. Зразки першого типу (CF/ZnO_{nr}) являли собою масив хаотично орієнтованих зрослих нанострижнів ZnO, товщиною 1 мкм. В зразках другого типу (CF/ZnO_{ns}) функціональний шар було представлено нанолістами ZnO товщиною 20 мкм. Для отримання зразків обох серій було використано метод автоматичної послідовної адсорбції та реакції іонного шару (SILAR), що полягав у наступному: підкладку занурювали водний розчин сульфату цинку (1 М ZnSO₄) та (NH₄OH), після чого промивали у гарячій воді та воді кімнатної температури. Цикли повторювали 25 разів. Зміну типу зразка забезпечено наявністю або відсутністю зародкового шару на підкладці перед початком SILAR.

Для дослідження молекулярного стану зразків було використано Раманівську спектроскопію. Морфологію та елементний склад зразків вивчали методами скануючої електронної мікроскопії та енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії. Значення трибоелектричної напруги реєструвалися при прикладанні механічного навантаження до плівок, розміщених на різних підкладках (скло, дерево, пінопласт).

Показано, що метод SILAR дозволяє створювати матеріали CF/ZnO, що відрізняються за морфологією та складом наноструктурованих шарів ZnO. Встановлено, що структура шарів ZnO належить до гексагональної системи з просторовою групою $C_{6v}^4(P6_3mc)$ з двома формульними одиницями на елементарну комірку, де усі атоми займають C_{3v} позиції в обох типах зразків. Максимальні значення напруг холостого ходу u_{oc} та густини наведеного поверхневого заряду σ_m , отримані в роботі становлять $\sigma_m = 0.7$ мкК/м² та $u_{oc} = 15$ В для CF/ZnO_{nr}, та $\sigma_m = 1.2$ мкК/м² і $u_{oc} = 30$ В для CF/ZnO_{ns}. З отриманих значень видно, що зразок CF/ZnO_{ns} проявляє кращі трибоелектричні властивості, ніж плівки CF/ZnO_{nr}. При випробовуваннях у прес-тесті з під'єднанням електричного резистивного навантаження, зразок з шаром CF/ZnO_{ns} підтвердив ефективність властивостей та показав для резистора у 4.2 МОм вихідну напругу 3,6 В, густину струму 1,42 мкА/см² та густину потужності 1.8 мкВт/см².



АДСОРБЦІЙНІ ТА МАГНІТОРЕЗИСТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ ПЛІВКОВИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ВОЛЬФРАМУ

Лариса Однодворець¹, Іван Бурик^{1,2},
Даніїл Назаренко¹, Ілля Матяш², Євген Федченко²,
Любомир Рашковецький³, Іван Борденюк³

¹Сумський державний університет, вул. Харківська, 116, Суми, Україна, 40007,

²ВСП «Класичний фаховий коледж СумДУ» вул. Садова, 39, Конотоп, Сумська обл., Україна, 41615,

³Інститут фізики НАН України просп. Науки, 46, Київ, Україна, 03680
i.buryk@aph.sumdu.edu.ua

Дослідження спінової поляризації в тонких плівках вольфраму має важливе значення для розвитку нових магнітних матеріалів та застосувань, таких як магнітна пам'ять, сенсори та квантова обробка інформації. Взаємозв'язок адсорбційних та магніторезистивних властивостей обумовлює їх значний потенціал щодо розвитку нових технологій в сучасній електроніці. Як відомо адсорбція відбувається, коли атоми чи молекули речовини поглинаються або адгезуються поверхнею матеріалу. З урахуванням наномасштабних розмірів кристалітів, адсорбційні властивості плівок вольфраму можуть виявитися значною мірою відмінними від тих, що спостерігаються в масивних зразках (пластин, стрічок, тощо). Для нанокристалічних плівок вольфраму, поверхневий об'єм стає важливим фактором у визначенні їхніх адсорбційних властивостей. Зменшення розміру зерен може призводити до збільшення поглинальної поверхні матеріалу, що в свою чергу може збільшити його здатність до адсорбції речовин з оточуючого середовища Крім того, електронні властивості нанокристалічних плівок вольфраму також можуть впливати на їхні адсорбційні властивості [1-3]. Наприклад, зміни в електронній структурі, які можуть виникнути внаслідок квантово-розмірних ефектів, можуть вплинути на взаємодію між атомами та молекулами речовин.

Вольфрам та його оксиди відомі своєю високою теплопровідністю і стійкістю до високих температур, що робить їх привабливими для багатьох застосувань в електроніці. Однак останніми роками зростає інтерес до використання таких матеріалів в пристроях спінтроники та спінових транзисторів. Ефект спінової поляризації в тонких плівках вольфраму пов'язаний з магнітною анізотропією [1]. Це може впливати на властивості спінового транспорту в матеріалі.

Поряд з цим в роботі [2] були досліджені особливості магніторезистивних властивостей пластин W(110), викликані адсорбцією водню при різних температурах. Авторами було встановлено збільшення поверхневого розсіювання електронів провідності, спричинене адсорбцією моношару водню на поверхні зразків (рис.1).

Сильний зв'язок спін-орбітальної взаємодії 5d електронів викликає значний інтерес і сприяє виникненню спін-пов'язаних ефектів. Одним з найперспективніших ефектів є генерація спінових струмів у масивних немагнітних матеріалах з сильним спін-орбітальним зв'язком, які можуть бути перетворені в струми заряду за допомогою спінового ефекту Холла.

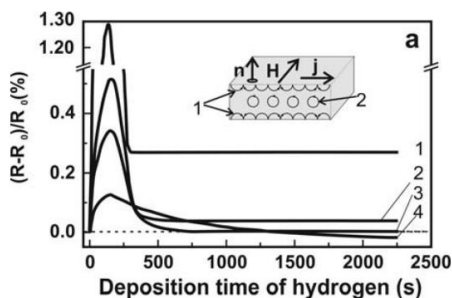


Рис.1. Магніторезистивні властивості ($H \perp n$) тонкої пластинки $W(110)$, викликані адсорбцією водню при різних температурах пластинки: 1 - 4,6 К, 2 - 9,8 К, 3 - 10,0 К та 4 - 14,6 К. Рисунок адаптований з роботи [2]

Поряд з цим дослідження провідних $5d$ оксидів з різною кількістю $5d$ електронів як ефективних генераторів спінового струму дозволяє визначити найкращі матеріали серед сімейства $5d$ оксидів перехідних металів і краще зрозуміти фізику спінового струму, пов'язаного з $5d$ електронами. Особливий інтерес представляє бінарний діоксид вольфраму WO_2 з валентністю W^{4+} ($5d^2$). WO_2 відомий як гарний провідник і надає чудову можливість вивчати генерацію спінового струму. Відомо, що термодинамічно стабільною є фаза оксиду WO_3 у валентному стані W^{6+} ($5d^0$). Тому важливо контролювати фазову стабільність плівок WO_2 шляхом тонкого налаштування умов окиснення. У зв'язку з цим в роботі [1] було продемонстровано епітаксійний WO_2 з металевими властивостями, що дозволило вирішити питання про те, чи можуть $5d$ оксиди перехідних металів, відмінні від оксидів заліза, бути ефективними генераторами спінового струму. Авторами роботи було досліджено генерацію спінового струму в епітаксійному WO_2 , вирощеному на поверхні $Al_2O_3(001)$ при кімнатній температурі, було визначено оптимальні властивості плівок WO_2 шляхом вивчення структурно-фазового складу, питомого опору та електронної структури.

Поряд з цим в роботі [3] нами було встановлено, що при швидкості конденсації $0,1$ нм/с та температурі підкладки 400 К в умовах технологічного вакууму $\sim 10^{-3}$ Па утворювалися лише аморфні плівки $a-W$. Після їхнього термічного відпалювання до 750 К в вакуумі було зафіксовано формування $a-W+W_3O$. Це підтверджено формуваннями іншого контрасту в аморфній матриці, які відповідають кубічній фазі W_3O . Подальше збільшення температури підкладки до 450 К та швидкості конденсації до $1,5$ нм/с призводить до формування нанокристалічних плівок ОЦК- W з розміром зерен від 5 нм до 10 нм. Після термічного відпалювання до 750 К таких зразків в умовах технологічного вакууму на електроннограмах зафіксовано дифракційні максимуми від кристалографічних площин ОЦК- $W +$ ГЦК- $W(C,O)_x$ ($x \approx 0,5$) Таким чином варіюванням технологічних параметрів формуються плівки визначеного структурно-фазового складу.

Як відомо, вольфрам не є магнітним сам по собі, але може змінювати свої властивості через адсорбцію або тангенціальну взаємодію з іншими магнітними матеріалами та магнітними структурами. Слід відмітити, що плівкові матеріали на основі вольфраму проявляють магнітооптичні властивості і можуть бути використані для створення сенсорів і пристроїв, які реагують на зміни магнітних полів.

[1] K. Ueda, H. Fujii, T. Kida et al., *APL Mater.* **11**, 061125 (2023).

[2] S.V. Sologub, I.V. Bordenyu, O.V. Kanash et al., *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics.* **19**, **1**, 52 (2016).

[3] I.P. Buryk, M.M. Ivashchenko, L.A. Sheshenia, *Proceedings of the 4-rd International Conference «Nanomaterials: Applications & Properties-2014»*, (Lviv, Ukraine, September 2014).



СЕКЦІЯ D

КВАНТОВА ТЕОРІЯ, КВАНТОВА ІНФОРМАТИКА

SECTION D

QUANTUM THEORY, QUANTUM INFORMATICS



HIERARCHY OF QUANTUM CORRELATIONS IN CONTINUOUS-VARIABLE SYSTEMS

Haleema Sadia Qureshi

Department of Physics, Fatima Jinnah Women University, The Mall Rawalpindi
46000, Pakistan

We study interesting aspects of the quantum correlations, such as, quantum discord, entanglement, steering, and Bell nonlocality, of two-mode Gaussian state (TMGS) for the photons retrieved via various continuous-variable systems. We consider the initial modes employed at the input of either pure or mixed two single-mode Gaussian states (TSMGSs). We analyse the influences of the various system parameters on the quantum correlations, and found that the quantum correlations satisfy a strict hierarchy relation, such that, quantum discord \supseteq entanglement \supseteq steering \supseteq Bell non-locality, where $X \supseteq Y$ means X is the superset of Y , stating such that entangled states are a subset of states which exhibit discord, and a superset of the steerable states.



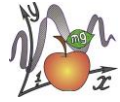
ЗАПЛУТАНІСТЬ СПІНУ ОДИНИЦЯ З ІНШИМИ СПІНАМИ У ГРАФОВОМУ СТАНІ ДЛЯ УСІХ МОЖЛИВИХ ПОЧАТКОВИХ СТАНІВ

Колесник Ростислав

Львівський національний університет імені Івана Франка, фізичний факультет, кафедра теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука, вул. Драгоманова 12, 79005, Львів, Україна.
rst.koles@gmail.com

Знайдено заплутаності спіну $S = 1$ з іншими спінами у графовому стані для різних ступенів вузла, а також для різних початкових станів. Заплутаності знайдено використовуючи ентропію фон Неймана для ступенів вузла $k = 1, 2, 3$. Ступінь вузла $k = 1$ ми утворюємо за допомогою оператора еволюції $U_{12} = \exp(i\alpha S_1^x S_2^x)$ подіявши ним на початковий стан $|\psi_0\rangle = |000\dots 0\rangle$. Ступені вузла вищого порядку утворюємо добутком подібних операторів еволюції, які утворюють X-X зв'язок для відповідних спінів. Оскільки такі оператори еволюції комутують між собою, то це означає, що ми можемо діяти ними на початковий стан $|\psi_0\rangle$ в довільному порядку.

Виявлено, що матриця густини для досліджуваного спіну у графовому стані завжди зводиться до однакової форми, незалежно від ступеня вузла. Побудовано залежність заплутаності від параметра еволюції для кожного ступеня вузла. Знайдено середню заплутаність для усіх ступенів вузла та побудовано залежність середньої заплутаності від ступеня вузла.



QUANTIFYING THE ENTANGLEMENT OF RANK-2 MIXED QUANTUM STATES WITH QUANTUM PROGRAMMING

N. A. Susulovska, Kh. P. Gnatenko

Professor Ivan Vakarchuk Department for Theoretical Physics,
Ivan Franko National University of Lviv,
12 Drahomanov St., Lviv, UA-79005, Ukraine
n.a.susulovska@gmail.com,
khrystynagnatenko@gmail.com

Being a defining feature of quantum mechanics entanglement lies in the foundation of quantum information domain allowing for unprecedented capabilities of quantum computers and facilitating a range of quantum communication schemes for data transmission and protection. Thus, quantifying the entanglement of the resource quantum states is a critical task, and recently there have been many attempts to tackle it with the help of quantum devices. The development of corresponding quantum programming methods remains an active area of research. A straightforward way to approach this problem is by studying the relationship between entanglement and some directly measurable observables, which gives one an opportunity to estimate the entanglement on a quantum computer.

In the present study, we consider multiqubit rank-2 mixed states consisting of a set of arbitrary pure states defined on the subspace spanned by vectors $|0\rangle^{\otimes N}$, $|1\rangle^{\otimes N}$, where N is a number of qubits. For this specific class of mixed states, it was shown that the geometric measure of entanglement of an arbitrary qubit with the remaining system is entirely determined by the mean values of corresponding spin correlations [1]. Based on this observation, we obtain an expression for the geometric measure of entanglement of the mixed quantum states under investigation. In addition, we consider special cases of rank-2 mixed states prepared by mixing an arbitrary state from the given restricted subspace and one of the Schrödinger cat states with equal probabilities. We prepare both pure states constituting the mixed one and measure the required spin correlations on IBM's quantum simulator Qiskit Aer. In order to simulate a mixed state on a quantum device, the number of times we execute each quantum circuit is set proportional to the corresponding mixing probability similarly as was done in [2]. We obtain the geometric measure of entanglement of one qubit with the others in such mixed states for different values of parameters determining an arbitrary state present in the mixture with a quantum programming approach. We show that the geometric measure of entanglement reaches its maximal value in the case when the arbitrary state in the mixture coincides with the Schrödinger cat state it is mixed with and the resulting state is pure.

[1] A.M. Frydryszak, M.I. Samar, V.M. Tkachuk, *Eur. Phys. J. D*, **71**, 233 (2017).

[2] A.R. Kuzmak, V.M. Tkachuk, *Eur. Phys. J. Plus*, **136**, 564 (2021).



STUDIES OF EVOLUTION AND GEOMETRIC MEASURE OF ENTANGLEMENT OF GRAPH STATES OF SPIN SYSTEM WITH HEISENBERG INTERACTION

Sviatoslav Tymyk

Professor Ivan Vakarchuk Department for Theoretical Physics,
Ivan Franko National University of Lviv,
12 Drahomanov St., Lviv, UA-79005, Ukraine
xsvtsx@gmail.com

Entanglement is a critical resource in quantum communications and quantum computing (see, for instance, [1, 2, 3]). Its calculation plays important role in quantum information. Therefore, much attention has been devoted to studies of entanglement of quantum states and its detecting on quantum computers.

In the present paper we investigate binary tree and cycle graph states of spin systems generated by operator of evolution with Heisenberg Hamiltonian. We have found expression that describes the evolution of the binary tree system with time and expressions for the geometric measure of entanglement of a spin with other spins in the binary tree graph and cycle graph states. The geometric measure of entanglement of a spin with other spins in the binary tree graph state and cycle graph state was also quantified on the quantum computer IBMQ Quito. The results obtained on the quantum computer are in fine agreement with theoretical one.

- [1] R. Horodecki, P. Horodecki, M. Horodecki, K. Horodecki, *Rev. Mod. Phys.* 81, 865 (2009).
- [2] Kh. P. Gnatenko, V. M. Tkachuk, *Phys. Lett. A* 384, 126579 (2020).
- [3] Gnatenko, K. P., Susulovska, N. A. (2022). *Europhysics Letters*, 136(4), 40003.



СЕКЦІЯ Е

ФІЗИКА КОНДЕНСОВАНИХ СИСТЕМ

SECTION E

PHYSICS OF CONDENSED SYSTEMS



MORPHOLOGICAL STUDIES OF SOLIDSOLUTIONS (Ge₂)_{1-x}(ZnSe)_x

A.Sh.Razzokov

Urgench State University, Urgench, 14 Kh. Alimjan str., Uzbekistan.

e-mail: a.razzokov777@gmail.com

Graded-gap solid solutions make it possible to vary the basic electro physical and photoelectric parameters of semiconductor materials within wide limits when changing their chemical compositions [1,2]. However, morphological studies that determine the photoelectric and electrophysical properties of (Ge₂)_{1-x}(ZnSe)_x epitaxial layers have not been sufficiently studied yet [3].

Defects and dislocations at the substrate-film interface serve as additional recombination centers, which worsens the injection properties in homo- and heterojunctions of the structure. In addition, they significantly reduce the separation coefficient of light-generated electron-hole pairs in photoelectric converters. Therefore, the selection of components and chemical compounds that form the necessary solid solutions is associated with many parameters that must be taken into account: sufficient solubility of the components in solvent at a given temperature; slight discrepancy between lattice parameters and thermal expansion coefficients of crystal-forming chemical compounds and substrates, crystal orientations, etc.

Crystalline perfect epitaxial layers (Ge₂)_{1-x}(ZnSe)_x were grown from a limited tin solution-melt with forced cooling (at a rate of 1-1.5 K/min) in the temperature range from 1023 K to 803 K on Ge(100) substrates, Ge(111), GaAs(100), GaAs(111). The resulting epitaxial layers were single-crystalline and had a sphalerite-type lattice, which is confirmed by XRD studies. Mutual substitution of components in the lattice did not lead to its noticeable deformation.

Three-dimensional images of the surface of an epitaxial film (Ge₂)_{1-x}(ZnSe)_x, obtained using an atomic force microscope, showed that a quantum dot with a width of 110 nm and a height of 14 nm is formed in the surface layer. The forming quantum dots in the form of a dipole are directed strictly in one direction, with the same slope, which indicates the monocrystalline nature of the resulting epitaxial film.

According to experimental data, the dislocation density N_D in grown semiconductor solid solutions (Ge₂)_{1-x}(ZnSe)_x depended on many technological parameters: growth temperature, forced thorough cooling, orientation and cleanliness of substrates, type of solvent. Therefore, in order to reduce the dislocation density, experiments were carried out at different T_{BC} values. It was found that the lowest values of dislocation density ($N_D=7 \cdot 10^3 \div 8 \cdot 10^4 \text{ cm}^{-2}$) were recorded in epitaxial films at $T_{BC} = 893 \text{ K}$.

[1] Wang Y. et al., Physical Chemistry Chemical Physics, (2013), p. 2912-2916.

[2] Huang W. et al., Journal of Physics and Chemistry of Solids. (2019), p. 41-45.

[3] A. S.Saidov, A.Sh.Razzakov, V.A.Risaeva, E.A.Koschanov., Materials chemistry and physics, (2001), p.1-6.



INSIGHTS INTO GLASSY FEATURES IN TCMX CRYSTALS: CORRELATIONS, ANOMALIES, AND GRANATO'S INTERSTITIALCY MODEL

**Daria Szewczyk^{1,2*}, A. Jeżowski¹, A.I. Krivchikov^{1,3}, J. Ll. Tamarit⁴,
M.A. Ramos²**

¹Institute of Low Temperature and Structure Research PAS, Wrocław, Poland

²Instituto Nicolás Cabrera (INC) & Universidad Autónoma de Madrid,
Madrid, Spain

³B. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering NASU,
Kharkiv, Ukraine

⁴Grup de Caracterizació de Materials, Universitat Politècnica de Catalunya,
Barcelona, Catalonia, Spain

*d.szewczyk@intibs.pl

Our study presents detailed low-temperature specific heat experiments in three different measuring setups for 2,4,5,6-tetrachloro-m-xylene (TCMX) crystals. As a result, we observed that those quasiplanar molecular crystals of TCMX, possessing minimal disorder in the P21/c structure, exhibit classical glassy features: namely a characteristic boson peak at approximately 6.6 K, alongside a density of two-level systems at lower temperatures. When comparing TCMX with similar molecular crystals like pentachloronitrobenzene (PCNB) [2] and parachloronitrobenzene (p-CNB) [3], which also feature in-plane orientational disorder, TCMX exhibited a stronger boson peak but a lower density of two-level systems. Notably, we observed a lack of correlation between the occurrence of glassy features (two-level systems and boson peak) and the number of available orientations in the molecule. Tentatively, we attribute these differences to the more "symmetrical" molecular structure of TCMX, lacking the NO₂ group and featuring only Cl and CH₃ substitutions with very similar van der Waals volumes. This symmetry potentially facilitates tunnelling jumps between energy landscape minima. Thus, our data suggests that the effective density of two-level systems is influenced more by the global distortion of medium-range order in the solid lattice than by isolated, non-interacting tunnelling defects.

Conversely, we discovered a remarkable correlation between the temperature of the boson peak (BP) and the atomic Debye temperature, aligning with Granato's prediction derived from the interstitialcy theory [4], where $\Theta_{D,at} \approx 35T_{BP}$. Furthermore, this correlation holds not only for the three benzene derivatives studied but also for a series of other molecular crystals, a previously unnoticed observation. We interpret these results as an evidence of a direct relationship between the ubiquitous boson peak feature in partially ordered crystals and their corresponding vibrational spectrum, with the boson peak emerging as the focal point of the hybridization between quasilocalized vibrations and extended phonons.

- [1] M.A. Ramos, Low-Temperature and Vibrational Properties of Disordered Solids: A Half-Century of "Anomalies" of Glasses World Scientific, London/Singapore, (2022).
- [2] J.F. Gebbia, M.A. Ramos, D. Szewczyk, A. Jeżowski, A. I. Krivchikov, Y.V. Horbatenko, T. Guidi, F. J. Bermejo, J.Ll. Tamarit, Phys. Rev. Lett. **119**, 215506 (2017).
- [3] K. Saito, H. Kobayashi, Y. Miyazaki, M. Sorai, Solid State Commun. **118**, 611 (2001).
- [4] A.V. Granato, Physica B: Condens.Matter **219-220**, 270 (1996).



STRUCTURE STABILITY AND ENERGY PROPERTIES OF CADMIUM TELLURIDE CLUSTERS

**Liliia Deva¹, Ihor Semkiv¹, Myron Rudysh², Pavlo Shchepanskyi³,
Andrii Kashuba¹**

¹Lviv Polytechnic National University, 12 Bandera Str., 79013 Lviv, Ukraine

²Jan Dlugosz University in Czestochowa, 13/15 Armii Krajowej Al., 42-200 Czestochowa, Poland

³Ivan Franko National University of Lviv, 19 Dragomanov Str., 79000 Lviv, Ukraine

Semiconductor materials are of great importance in technology development. In particular, the materials of the A^{II}B^{VI} crystal group have applications such as solar cells, gas sensors, photocatalysts, or quantum devices. This has led to extensive investigation of these materials. The values of band gaps and some other optical properties of these compounds make them especially interesting for solar cells. A good material for use as an absorber in a solar cell must have band gap close to the range of the sun irradiation (~1.75–3 eV [1]). Bulk cadmium telluride has a narrow direct optical band gap of approximately 1.44 eV [2] and a high absorbance (above ~10⁵ cm⁻¹). That is why the *p*-CdTe is used as a typical absorber for solar cells.

In the present work, the results of the studies of the low-dimensional (ring and linear) structures of the CdTe are analyzed. These results can help to understand the growth behavior of the stable CdTe clusters in linear or ring structures.

The first-principle theoretical studies of the structure and electronic properties of the Cd_{*n*}Te_{*n*} (*n* ≤ 10) clusters with linear and ring structures have been carried out using the reliable techniques of density functional theory and known approximations. Based on these calculations, the energy position of HOMO, LUMO, HOMO-LUMO gap, binding energy, and electronegativity are obtained for the studied clusters. The decreasing tendency of the HOMO–LUMO gap with increasing cluster size for linear structure is connected with the overlapping of the *s* and *d* orbitals of the Cd atom with the *p* orbital of the Te atom. The stability of CdTe clusters with the linear structure increases with size clusters increasing. The most favorable linear-structure CdTe cluster sizes are *n* = 6 and 9. The obtained values of the HOMO-LUMO gaps for CdTe clusters with ring structure are much higher than corresponding for linear-structure ones. If comparing linear and ring structures, the more favorable structures are ring-type ones. The highest relative stability of CdTe clusters with ring structure has corresponded to cases *n* = 3 and 5.

[1] J.M. Matxain, J.M. Mercero, J.E. Fowler, J.M. Ugalde, J. Am. Chem. Soc., **125**, 9494-9499 (2003).

[2] R. Petrus, H. Ilchuk, A. Kashuba, I. Semkiv, E. Zmiiovska, Funct. Mater., **27**, 342-347 (2020).



ПРИРОДА СЦИНТИЛЯЦІЙ І ТЕРМОСТИМУЛЬОВАНОЇ ЛЮМІНЕСЦЕНЦІЇ В КРИСТАЛІ ВОЛЬФРАМАТУ КАЛЬЦІЮ

А. Грицак, М. Рудко, В. Капустяник

Львівський національний університет імені Івана Франка, вул.
Драгоманова,
50, 79005, Львів, Україна, grytsak.andrew@gmail.com

В цій роботі було проведено дослідження термостимульованої люмінесценції в комплексі з аналізом кривих загасання сцинтиляцій у номінально чистому кристалі CaWO_4 , вирощеному методом Чохральського. На кривій термостимульованої люмінесценції (ТСЛ) вольфрамату кальцію, отриманій після опромінення зразка Х-випромінюванням при 77 К, виявлено 3 піки: при 160, 220 та 308 К (Рис.1). Максимум при 160 К можна пояснити термічним розпадом автолокалізованих дірок (V_k -центрів $(\text{WO}_4)_2^{3-}$), що підтверджується наявністю такого ж піка в кристалах групи вольфраматів з загальною формулою AWO_4 ($A = \text{Ca}, \text{Zn}, \text{Ba}, \text{Mg}, \text{Cd}, \text{Pb}$) [1-3]. Інтенсивність піка люмінесценції при 308 К швидко знижується зі зростанням температури. Така поведінка у номінально чистому кристалі вольфрамату кальцію очевидно спричинена неконтрольованою моновалентною домішкою, яка стає нестабільною при температурах, вищих за 220 К.

Отримані значення часу загасання τ для різних компонент сцинтиляцій CaWO_4 після опромінення ізотопом ^{241}Am (Рис.2). Зокрема, компоненти з коротким часом загасання ($\tau_1 = 3 \pm 0,2$ мкс та $\tau_2 = 10,25 \pm 0,2$ мкс) розглядаються як основні та пояснюються переходами у zdeформованих тетраедричних комплексах $(\text{WO}_4)^{2-}$ з симетрією C_{2v} . Отримані результати є важливими для подальшого вивчення кристалів CaWO_4 як потенційних сцинтиляторів для криогенних детекторів.

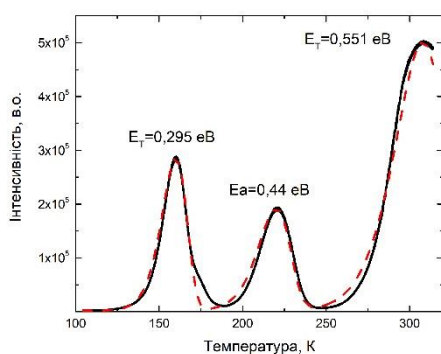


Рис.1 ТСЛ кристала CaWO_4 після Х-опромінення при 77 К та швидкості нагрівання 0,1 К/с.

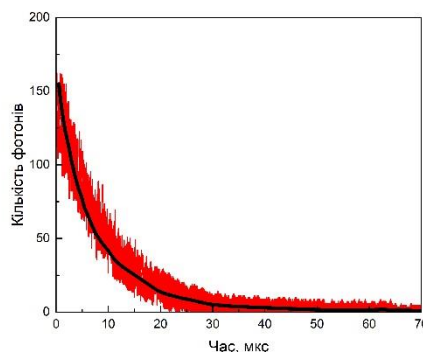


Рис. 2 Криві загасання сцинтиляцій в кристалі CaWO_4 при збудженні альфа-частинками ізотопу ^{241}Am .

- [1] R. Grasser, A. Scharmann, K.-R. Strack, *Journal of Luminescence* **27**, 263 (1982).
- [2] L. L. Nagornaya et al., *IEEE Transactions on Nuclear Science* **56**, 2513 (2009).
- [3] Z. Kowalski et al., *Radiation Measurements* **118**, 1 (2018).



CALCULATION OF ELECTRONIC STRUCTURE AND PHYSICAL PROPERTIES FOR $N_2P_2X_6$ ($N = \text{Sn, Mn}$; $X = \text{S, Se}$) COMPOUNDS

**V.Yu. Klevets¹, N.D. Savchenko¹, V.Yu. Bihanych¹, A.G. Slivka¹,
I.I. Haysak¹, A.I. Susla¹, Y.I. Cheipesh²**

¹Uzhhorod National University, 88000, Uzhhorod, Voloshin Str., 54, Ukraine,
klevetsvyu@gmail.com

²Instituut-Lorentz, Leiden University, Niels Bohrweg 2, 2333 CA Leiden, The Netherlands

The aim of this work is to calculate the electronic structure and physical parameters of the ternary compounds $N_2P_2X_6$ ($N = \text{Mn, Sn, X} = \text{S, Se}$). The following basic physical properties have been calculated: the energy band gap, electronic affinity, mechanical modules, dielectric and magnetic susceptibilities, some non-linear properties and vibrational frequency spectrum. The effect of the surface electronic states and surface oxidation has been analyzed.

The calculated approach is based on the theoretical works by W.A. Harrison [1], that is method of linear combination of atomic orbitals and pseudopotential method. In the approach the concept of bond polarity is different from bond polarity definitions introduced by L. Pauling and by J.C. Phillips. In particular, for binary and ternary compounds it has been used to study the energy parameters of cubic crystals [2] and chalcogenide vitreous semiconductors [3, 4]. We have used theoretical approach developed by W.A. Harrison [1] and applied by us earlier to the calculation of electronic structure and properties for binary and ternary compounds of the type under investigation [5-7].

Hartree-Fock atomic terms were utilized to construct energy band diagrams. To determine the physical properties of ternary compounds, the values for atomic pairs were directly summed. The influence of internuclear distances on physical properties was analyzed. Adjustments were made to account for the impact of chemical bond polarity on metallic bond energy, spin-orbit interaction, the d-states effect on the valence band offset, and intra-atomic Coulomb repulsion energy. The energy levels of hybrid states associated with Sn and Mn dangling bonds on various crystallographic planes were established. The energy levels of surface electronic states were determined based on the concept of surface reconstruction.

- [1] Harrison W.A. Elementary Electronic Structure.– New Jersey, London, Singapore, Shanghai, Hong Kong, Taipei, Chennai: World Scientific Publishing Co., 2004. – 838 p.
- [2] Litovchenko V.G. Ukr. J. Phys. – 2005. – Vol. 50, N 10. – P. 1175–1182.
- [3] Shchurova T., Savchenko N., Kondrat A. et al. Photoelectronics. – 2008. – Vol. 17. – P. 104–107.
- [4] Savchenko N.D., Shchurova T.N., Opachko I.I., et al, *Хімія, фізика та технологія поверхні*, 2011, Т. 2, № 3, С. 249–252.
- [5] Клевец В.Ю., Савченко М.Д., Щурова Т.М., та ін., *Uzhhorod Univ. Scie. Herald. Ser. Phys.*, 2012, Issue 31, P. 55–60.
- [6] Клевец В.Ю., Савченко М.Д., Щурова Т.М., та ін., *Хімія, фізика та технологія поверхні*, 2012, Т. 3, № 3, С. 241–245
- [7] Klevets V.Yu., Savchenko N.D., Shchurova T.N., et al, *Functional Materials*, 2013, Т. 20, № 1, С. 97–102.
- [8] Zamaraitė I., Svirskas S., et al. Dielectric, pyroelectric and ferroelectric properties of lead-doped $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ crystals. *Phase Transitions*, 2019, v. 92, p. 500-507.
- [9] Glukhov K., Fedyo K., Banys J., Vysochanskii Y. Electronic Structure and Phase Transition in Ferroelectric $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ Crystal. *Int. J. Mol. Sci.* 2012.



ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА В ПЛІВКАХ СПОЛУК НА ОСНОВІ Gd і Sc

Юрій Гончар, Віктор Присяжнюк

ЛНУ ім. Івана Франка, фізичний факультет,

viktor.prysyazhnyuk@lnu.edu.ua

Тонкі плівки бінарних сполук систем Gd-Fe і ScCu отримували методом термічного випаровування у вакуумі полікристалічної шихти відповідного складу. Для проведення електрофізичних досліджень плівки були конденсовані на ситалові підкладки з товщиною від 1000 до 2000 Å. Товщину плівок визначали за допомогою оптичного інтерферометра. Температура підкладок змінювалась в межах 300-500 К. Вимірювання питомого електроопору та термо-ерс проводились у спеціально сконструйованому кріостаті на базі установки ВУП-5. Для дослідження процесів старіння всі плівки повторно досліджувались через 3 роки після першого етапу вимірювань [1].

Нами одержано температурні залежності питомого електроопору аморфних плівок систем Gd-Fe і Sc-Cu. В залежності від методів отримання (термічне напылення, магнетронне розпылення) і умов осадження (температура підкладки) отримувались аморфні, напіваморфні та кристалічні плівки товщиною порядку 100 нм (наявність аморфної структури підтверджувалась електронографічно) з різними характеристиками температурних залежностей питомого електроопору; в одних випадках це були напівпровідникові залежності, в інших – металеві. А в деяких випадках спостерігалася зміна характеру температурних залежностей електроопору (мова іде про плівки ScCu4 отримані магнетронним розпылення при температурі підкладки 500К).

Дані факти можна пояснити виходячи з уявлень про кореляцію Муїджі [2]. Мова іде про той факт, що всі аморфні метали можна розділити на дві групи. До першої групи відносяться метали, електроопір яких зростає при зростанні температури. Це метали з відносно низьким електроопором. До іншої групи відносяться метали електроопір яких зменшується при зростанні температури. Межею між ними є електроопір порядку 150-200 мкОм см. Для пояснення зменшення питомого опору з температурою, яке спостерігається в аморфних металах використовуються уявлення про дифузійний характер електропровідності в наближенні сильного зв'язку.

[1] Присяжнюк В.І. Вплив процесів старіння на структуру та фізичні властивості аморфних плівок системи Gd-Fe / Присяжнюк В.І., Миколайчук О.Г. // Структурна релаксація в твердих тілах: матеріали IV Міжнародної наук.-практ. конф., –Вінниця, – 2012. –С.146.

[2] М.І. Захаренко, М. П. Семенько, Металофізика та новітні технології, 29, № 12: 1547 (2003).



ПОБУДОВА КРИСТАЛІЧНИХ СТРУКТУР ТА МОДЕЛЮВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СПОЛУК СИСТЕМ Gd-Fe ТА Sc-Cu.

Іваньо Андрій, Віктор Присяжнюк

ЛНУ ім. Івана Франка, фізичний факультет,
viktor.prysyazhnyuk@lnu.edu.ua

За допомогою комп'ютерної програми PowderCell було побудовано елементарні комірки сполук $GdFe_2$ $GdFe_3$ Gd_6Fe_{23} $GdFe_5$ Gd_2Fe_{17} $GdFe_{12}$ $ScCu$, $ScCu_2$, $ScCu_4$. Також було змодельовано дифрактограми відповідних сполук, які порівнювалися дифрактограмами отриманими від реальних сполук. На основі цих даних було проведено структурні дослідження плівок цих сполук.

Конденсати отримували методом термічного напилення при різних температурах NaCl-підкладок, а потім піддавались температурному впливу в колоні мікроскопу. Температура підкладок змінювалась в межах 300-500 К, а межі температурного впливу на плівки становили 300-800 К. Структурні дослідження проводились за допомогою електронного мікроскопу УЕМВ-100К.

Електроннографічні дослідження плівок сполуки Gd_2Fe_{17} , осаджених при $T_n=300$ К, показали, що при таких умовах формуються стійкі аморфні конденсати. Встановлено, що термічний відпал таких плівок приводить до формування полікристалічної структури з фазами α -Fe і Gd_6Fe_{23} в основі. Первинною фазою кристалізації є кристаліти α -Fe.

Підвищення температури підкладки приводить до появи полікристалічної фази. Розшифровка електроннограм показала, що полікристалічна частина плівок складається із трьох фаз. Зокрема, це сполука Gd_2Fe_{17} (структурний тип Th_2Ni_{17}), сполука Gd_2Fe_{17} (структурний тип Th_2Zn_{17}) та у невеликій кількості сполука $GdFe_5$ (структурний тип $CaCu_5$).

Структурні дослідження плівок сполуки $GdFe_2$, осаджених при $T_n=300$ К, показали, що при таких умовах також формуються аморфні конденсати. Встановлено, що нагрівання даних плівок в колоні мікроскопу приводить до формування полікристалічної структури з кубічною гранецентрованою ґраткою типу $MgCu_2$ в основі.



ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ АМОРФНИХ І ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ ПЛІВОК СПОЛУК НА ОСНОВІ ГАДОЛІНІ І СКАНДІЮ МЕТОДАМИ ЕЛЕКТРОННОЇ МІКРОСКОПІЇ.

Артем Осадчий, Віктор Присяжнюк

ЛНУ ім. Івана Франка, фізичний факультет,

viktor.prysyazhnyuk@lnu.edu.ua

Тонкі плівки бінарних сполук на основі гадолінію та скандію отримували методом термічного випаровування у вакуумі полікристалічної шихти відповідного складу. Для структурних досліджень на сколи NaCl і KCl осаджувались плівки товщинами 500-600 Å. Товщину плівок визначали за допомогою оптичного інтерферометра. Температура підкладок змінювалась в межах 300-500 К. Структурні дослідження плівок проводились на електронному мікроскопі УЭМВ-100К. Термічна стійкість та кінетика кристалізації аморфних конденсатів досліджувалась безпосереднім нагрівом їх в колоні електронного мікроскопу (швидкість нагріву 5-30 К/хв).

Встановлено, що при кімнатних температурах підкладок формуються аморфні плівки, при $T_{\text{п}} = 300-500$ К – аморфно-кристалічні, а при $T_{\text{п}} > 500$ К полікристалічні. Проведено розшифровку кристалічної структури конденсатів, одержаних при різних температурах підкладок. Кристалізація аморфних плівок має гетерогенний характер.

В полікристалічних плівках $\text{Gd}_2\text{Fe}_{17}$ спостерігалась присутність двох фаз $\text{Gd}_6\text{Fe}_{23}$ і $\alpha\text{-Fe}$. В плівках, отриманих при температурі підкладки >500 К, встановлено наявність 3 фаз: гексагональна фаза $\text{Gd}_2\text{Fe}_{17}$ зі структурним типом $\text{Th}_2\text{Ni}_{17}$, ромбоєдрична фаза $\text{Gd}_2\text{Fe}_{17}$ зі структурним типом $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ та гексагональної фази GdFe_5 зі структурним типом CaCu_5 . Плівки сполуки GdFe_2 формуються у характерній для масивного стану GdFe_2 кубічній структурі з гранецентрованою ґраткою.



EFFECT OF THE INNER NANOSTRUCTURE OF VACUUM CONDENSATES DEPOSITED BY MAGNETRON SPUTTERING ON THEIR HARDNESS AND ADHESION TO A GLASS SUBSTRATE

**Volodymyr Stryzhak^a, Martin Šetina^b, Sergey Petrushenko^{ab},
Ruslan Sukhov, Sergey Dukarov**

^aKharkiv National University named after V.N. Karazina, Faculty of Physics, Svobody Square 4, Kharkiv

^bTechnical University of Liberec, Institute for Nanomaterials, Advanced Technologies and Innovation, Department of Advanced Materials, 460 01 Liberec, Czech Republic, Serhii.Petrushenko@tul.cz

Thin-film materials are widely used in various microelectronic, optical, and biomedical applications. Thin films are used to increase resistance to erosion, corrosion, wear, and abrasion of the material. Adhesion determines the reliability of the coating and is its ability to resist separation from the substrate. It is closely related to material hardness, which is an important characteristic of instrument materials. Increasing hardness is an important technological task for the solution of which, in addition to classical metallurgical approaches, size factors can be used, that is, the transition to nanometer-sized structures. Thus, the task of establishing the relationship between the microstructure of nanocrystalline layers and their mechanical properties becomes important.

Thin copper films deposited in the original vacuum chamber using the magnetron sputtering were chosen as the research object. The used vacuum chamber allows performing RF plasma treatment of the substrate simultaneously with the deposition of the layer. The sclerometric method was used to measure the adhesion of the obtained films. A Rockwell indenter was used as an indenter. Glass plates were used as substrates. A Zice Ultra Plus autoemission scanning electron microscope was used for FESEM studies. Sclerometric studies were performed using a Bruker CETR-UMT.

It was found that for samples deposited at plasma impact energies of 0 and 180 eV during sclerometry, Hertzian destruction is observed, and at energies of 400 eV, the samples are destroyed by arc stretching. Thus, it is shown that plasma irradiation contributes to a change in the type of destruction. It was established that the stability of the coating increases with an increase in ion energy. Increasing the energy of the ion treatment increases the size of the crystallites observed in the films by FESEM studies. This effect is due to recrystallization, the physical mechanism of which is condensation-stimulated diffusion, which, however, is caused not by heating, but by ion treatment. Increasing the irradiation energy, in addition to accelerating recrystallization, increases the number of atoms segregated by intergrain boundaries. This creates a buffer layer, the presence of which ensures the existence of an energy barrier that the indenter must overcome when the film breaks down. This layer, together with the increase in the size of the grains, explains the increase in the mechanical properties of the films when the plasma processing energy changes. For these films deposited without RF processing, a nanostructure with poorly developed grain boundaries is observed. Its destruction is a barrier-free process. The hardness of such films is significantly lower than that of irradiated ones. This allows for a transition from brittle failure, which is typical of irradiated films, to ductile failure, which may be of technological importance.



ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІАНІЛІНУ ТА ПОЛІПІРОЛУ ДОПОВАНИХ Ti_2AlC

Артем Жицький, Юлія Горбенко, Олена Аксіментьєва
Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Університетська, 1, artem.zhytskyi@lnu.edu.ua

MAX phase – велика родина матеріалів, що активно досліджуються завдяки шаруватій структурі та унікальному поєднанню металевих і керамічних властивостей, таких як висока тепло- та електропровідність, механічна міцність, стійкість до високих температур і окислення [1]. Передбачається, що MAX phase мають потенційне застосування як високотемпературний конструкційний матеріал, захисні покриття для вогнетривких сплавів, в системах теплозахисного покриття на авіаційних двигунах та газових турбінах, як приймачі в системах накопичення сонячної енергії, електричні контакти, каталізатори [2]. Повідомляють, що нанокompозити MAX/провідний полімер можуть бути використані як фотокаталізатори [3] і для електродів суперконденсаторів з покращеними тепловими та механічними властивостями [4]. Проте вплив MAX phase на властивості електропровідних полімерів вивчено недостатньо.

У цій роботі ми дослідили вплив MAX phase, а саме – Ti_2AlC , на електричні властивості композитів на основі провідних полімерів – поліаніліну (ПАН) та поліпіролу (ППі). Для отримання зразків композитів ПАН– Ti_2AlC та ППі– Ti_2AlC використовували методику полімеризаційного наповнення, в основі якої – окисна полімеризація мономеру, що ґрунтується на його реакції із окисником при еквімолярному співвідношенні мономер:окисник, за наявності у реакційному середовищі наповнювача – Ti_2AlC . Вміст Ti_2AlC становив 1, 3, 5 та 10 %. Для синтезу використовували 0,1 М розчини аніліну або піролу в 0,5 М розчині толуенсульфокислоти. Як окисник – пероксидисульфат амонію.

При вимірюванні питомого опору полімерних композитів з різним вмістом Ti_2AlC в інтервалі температур 293–373 К встановлено, що за підвищення температури спостерігається зменшення питомого об'ємного опору зразків (ρ), і, відповідно, підвищення питомої об'ємної провідності, що типово для напівпровідників. Представлення експоненціальної залежності в координатах рівняння Ареніуса $\ln \rho/\rho_0 - 1/T$ дало змогу визначити енергію активації провідності E_a . Виявлено, що значення E_a зменшується зі збільшенням вмісту Ti_2AlC у полімерних композитах. До того ж, питома провідність композитів ППі– Ti_2AlC є значно вищою, порівнюючи з ПАН– Ti_2AlC .

[1] J. Gonzalez-Julian, J. Am. Ceram. Soc., **104**, 659 (2021).

[2] M. Dahlgvist, M. W. Barsoum, J. Rosen, Mater. Today, **72** (2024).

[3] R. Gaur, S. Shahabuddin, I. Ahmad, Mater. Lett., **325**, 132888 (2022).

[4] S. Panda, and S. K. K. Pasha, Polym.-Plast. Technol. Mater., **62**, 2121, (2023).

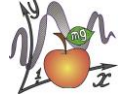


СЕКЦІЯ F

АСТРОФІЗИКА ТА АСТРОНОМІЯ

SECTION F

ASTROPHYSICS AND ASTRONOMY



SELF FOCUSING OF q -GAUSSIAN ALFVEN WAVES IN SOLAR CORONAL PLASMAS

Md. Sohail and Naveen Gupta

¹Lovely Professional University, Phagwara
Email: -skrayyan52@gmail.com

Abstract

This study explores the self-focusing of q -Gaussian Alfvén waves propagating within the inhomogeneous plasma of the solar corona. We utilize the generalized nonlocal nonlinear Schrödinger equation (GNLSE) to model wave propagation, incorporating q -Gaussian statistics and ponderomotive nonlinearities. Through numerical analysis, we investigate the influence of plasma density variations and wave parameters on self-focusing behavior. The results reveal a significant impact of the q -parameter, with higher q values leading to weaker self-focusing compared to standard Gaussian waves. Furthermore, the interplay between plasma density gradients and wave amplitude is examined, demonstrating the complex interplay between self-focusing and defocusing tendencies. These findings offer valuable insights into nonlinear wave propagation within complex astrophysical plasmas, potentially impacting the interpretation of solar coronal observations.



РОЗРАХУНОК СТРУКТУРИ НОРМАЛЬНИХ ЗІР У РАМКАХ УЗАГАЛЬНЕНОЇ ПОЛІТРОПНОЇ МОДЕЛІ

Д. Дзіковський, М. Ваврух

Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Кирила і

Мефодія, 8, 79005 Львів, Україна

e-mail: dmytro.dzikovskyi@gmail.com

Методом Еддінгтона побудовано узагальнене політропне рівняння стану для розрахунку характеристик зір довільного віку з просторово неоднорідним розподілом хімічного складу [1]. На прикладі Сонця показано, що стандартна політропна модель відповідає зорям нульового віку [2]. Розраховано характеристики Сонця у сучасну епоху та їх еволюційні зміни [3]. Одержані результати є близькими до розрахованих на основі рівнянь Шварцшильда [4]. Запропонований підхід застосовано до розрахунку внутрішньої структури моделі зорі з осьовим обертанням.

[1] Lamers H. J. G. L. M., Levesque E. M. Understanding Stellar Evolution (IOP Publishing, Bristol, UK, 2017).

[2] Sears R. L. Astrophysical Journal **140**, 477 (1964).

[3] Vavruk M., Dzikovskyi D. Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso **54**, 36 (2024).

[4] Schwarzschild M. Structure and Evolution of the Stars (Princeton University Press, Princeton, 1958).



ПОЄДНАННЯ Те-МЕТОДУ З МОДЕЛЬНИМИ ІОНІЗАЦІЙНО-e-МЕТОДУ З МОДЕЛЬНИМИ ІОНІЗАЦІЙНО-MEТе-МЕТОДУ З МОДЕЛЬНИМИ ІОНІЗАЦІЙНО-ОДУ З МОДЕЛЬНИМИ ІОНІЗАЦІЙНО- МЕТОДУ З МОДЕЛЬНИМИ ІОНІЗАЦІЙНО- КОРЕКЦІЙНИМИ МНОЖНИКАМИ

А. Козак^{1,2}, Б. Мелех³

¹Ліцей №81 імені Петра Сагайдачного ЛМР

²КЗ ЛОР “Львівська обласна Мала академія наук учнівської молоді”

³Львівський національний університет імені Івана Франка

Двобронний Те-методметод Пейджела [1] широко застосовується для швидкого розрахунку відносних вмісту Оксигену в зонах НІІ. У його класичному варіанті вміст О/Н розраховується за сумою вмісту цього елемента у 1-й та 2-й (O^+/H^+ та O^{++}/H^+) стадіях іонізації. Таким чином, весь вміст Оксигену, що перебуває в інших стадіях іонізації, Те-методом не враховується. Для врахування його вмісту в інших (Онеспостережуваних) стадіях іонізації, а також вмісту нейтральних Оксигену та Гідрогену, ми використали метод іонізаційно-методкорекційних множників (ОІКМ), який дозволяє, на основі іонного вмісту O^+/H^+ та/або O^{++}/H^+ , отримати повний відносний хімічний вміст Оксигену, О/Н. Метою нашої роботи було обрати найкращі вирази для ІКМ для подальшого коректного визначення вмісту О/Н в реальних зонах НІІ. Для досягнення цієї мети нами було розв'язано наступні задачі: 1) вибір виразів для ІКМ, які будемо перевіряти у поєднанні з Те-методом; 2) вибір фотоіонізаційних моделей, на основі яких можна здійснити таку перевірку; 3) розробка коду для реалізації Те-методу у поєднанні з відповідними ІКМ; 4) визначення найкращих виразів для ІКМ, які рекомендується використовувати при визначенні вмісту О/Н в реальних зонах НІІ. У результаті, ми обрали 5-ть виразів для ІКМ, отриманих у працях [2,4]. В якості платформи для їх перевірки було обрано нову мультикомпонентну модель [3] зони НІІ, у якій детально враховано перенос дифузного іонізуючого випромінювання. За допомогою діагностики Те-методом модельних спектрів, розрахованих у двох синтетичних апертурах (Оцентральної малій та довгій щілинній), та з використанням як класичного, так і загаданих вище ІКМ, було розраховано О/Н, значення якого порівнювався з відповідними вмістом, усередненим за модельним об'ємом, що “спостерігається” у відповідній апертурі. Лише один ІКМ показав задовільний результат для двох видів апертур. Також, по одному з ІКМ показали задовільні значення відхилення (Одо 50%) від модельного вмісту, відповідно для широкої щілинної та центральної малої апертур. Вираз, який використовується в оригінальному Те-методі, показав задовільний результат лише у випадку центральної малої апертури.

[1] Pagel B. E. J., Simonson E. A., Terlevich R. J., Edmunds M. G., 1992, MNRAS, 255, 325.

[2] І.О. Кошмак, Моделювання світіння низькометалічних зон НІІ, які оточують області спалахового зореутворення, дисертація на здобуття вченого ступеня канд. ф.-м.н., 2018

[3] B. Melekh, O. Buhajenko, I. Koshmak, Sent to publication in Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.

[4] Pilyugin, L. S., Vílchez, J. M., & Thuan, T. X. (O2006). MNRAS, 370(O4), 1928–1934.



ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ РІЧНОГО ПЕРЕДБАЧЕННЯ ОГИНАЮЧОЇ ІНФРАЗВУКУ

Сорока О.С., Мелех Б.Я.

Львівський національний університет імені Івана Франка,
фізичний факультет, вул. Кирила і Мефодія, 8, Львів, 79005, Україна,
olha.soroka.afzf@lnu.edu.ua

Основними джерелами енергії, що сприяють природним атмосферним змінам таким як інфразвук є літосферні процеси, атмосферні динамічні явища та космічні джерела. Інфразвукові хвилі літосферного походження виникають внаслідок коливань у літосфері, тоді як атмосферні динамічні процеси, такі як вітер, грози, урагани та торнадо, генерують інфразвукові хвилі. Космічні джерела, такі як Сонце і Місяць, переважно впливають на атмосферу Землі через механізми припливів та відпливів [1].

Інфразвукові коливання зазвичай мають період від декількох секунд до кількох хвилин і дослідження показують поступові зміни амплітуд коливань протягом кількох годин або днів через сонячні спалахи [2]. Такі характеристики обґрунтовують опис змін амплітуд інфразвукових коливань як оболонки модульованих випадкових процесів [3]. Різницеве нагрівання атмосфери протягом дня і ночі призводить до змін у коливаннях інфразвукових хвиль, тоді як зміни в сонячній активності служать направляючим сигналом для просторово-тимчасової модуляції утворення іонів та аерозолів в атмосфері [2].

Метою роботи є вивчення можливостей передбачення динаміки функції оболонки інфразвуку шляхом ідентифікації сезонності та трендів, виявлення окремих випадкових подій, які спричиняють відповідні акустичні зміни. Аналіз таких випадкових подій сприятиме ідентифікації та характеристиці землетрусів, підземних ядерних випробувань, різких змін сонячної активності та інших процесів планетарного масштабу [4].

Проведені дослідження оцінюють точність річного прогнозування огинаючої функції інфразвуку за допомогою трьох статистичних моделей: авторегресійної моделі (AR), моделі ковзного середнього (MA) і комбінованої моделі (ARIMA). Показано, що сезонність та тренд огинаючої функції можна надійно передбачити. За допомогою аналізу автокореляції та спектру Фур'є було виявлено гармонійні характеристики з чітким річним періодом. Під час аналізу часткової автокореляційної функції були визначені історично значущі точки даних для передбачення. Комбінована модель ARIMA досягла найнижчого середньоквадратичного відхилення, проте недостатньо точно відтворює гармонійну природу згасання. Модель AR має на 8% вище середньоквадратичне відхилення, однак, вона ефективно відтворює ритм оригінальної кривої.

[1] Hedlin, M. A. H., et al., *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **40**, 327 (2012).

[2] Soroka S., Mezencev V., Karatayeva L., Soroka O., *Kosm. Nauk. i Техн.*, **14**, 6 73-88 (2008).

[3] Wu, Ru-Shan, Jingrui Luo, and Bangyu Wu, *Geophysics* **79**, 3, WA13 (2014).

[4] Mezencev V., Soroka O., Soroka S., *Obrob. Vymir. Inform.* **28**, 104, 61 (2008).



ФОТОГРАФІЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ І ЇХ ОБРОБКА

Лавренюк Євген Вікторович

КЗ ЛОР «Львівська обласна Мала академія наук учнівської молоді»

Фотографічний метод спостереження або ж астрофотографія через свою доступність досі користується популярністю в багатьох науковців, що досліджують близькі до Землі космічні об'єкти. Через астрофотографію астрономи знають поверхні Марсу та Меркурію настільки детально, як і поверхню Місяця. Завдяки даному методу, було досліджено багато об'єктів і зроблено ще більше відкриттів в астрономічному світі. Цим методом науковці змогли дослідити атмосфери планет Сонячної системи, їхні поверхні, та інші властивості.

Метою роботи є: Фотографування та обробка фотографій космічних об'єктів, вивчення фотографічного методу спостереження.

Основні завдання роботи: Дослідити метод фотографування космічних об'єктів та обробки фотографій.

Предмет дослідження: Фотографічний метод спостереження об'єктів Сонячної системи.

Об'єкт дослідження: Планети Сонячної системи: Юпітер та Сатурн.

Висновки: Обробка фотографій дійсно покращує якість, та деталізує зображення космічних об'єктів. Фотографічний метод може показати науковцям чи наявна в планети атмосфера, якщо використовувати кольорові фільтри, та може знадобитися для фотометричних задач.

[1] Бронштен В. А. Планеты и их наблюдение. 2-ге вид. Москва : Библиотека любителя астрономии, 1979. 241 с.

[2] Celestron Customer Service Department. CPC series instruction manual : Інструкція. Torrance, 2009. 61 с.

[3] <https://www.wikipedia.org>

[4] http://www.avistack.de/downloads/AviStack2_eng.pdf



ФОТОІОНІЗАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ХЕМОДИНАМІЧНИХ СИМУЛЯЦІЙ ЕВОЛЮЦІЙ КАРЛИКОВИХ ГАЛАКТИК З АКТИВНИМ ЗОРЕУТВОРЕННЯМ ДЛЯ ВІКУ 100 МЛН. РОКІВ: ОЦІНКА ДОСТВІРНОСТІ НАБЛИЖЕННЯ *OUTWARD-ONLY* ПРИ РОЗРАХУНКУ ДИФУЗНОГО ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Михайло Шевченко, Богдан Мелех

Кафедра Астрофізики,

Львівський національний університет імені Івана Франка,

м. Львів, вул. Кирила і Мефодія, 8,

Mykhailo.Shevchenko@lnu.edu.ua

У процесі модифікації мультикомпонентних фотоіонізаційних моделей світіння небулярного середовища (МФМСНС), що оточує область активного зореутворення, побудованих на результатах хемодинамічних симуляцій еволюції карликових галактик із активним зореутворенням (зміни вмісту хімічних елементів, концентрації та температури у зоні “супервітру” з віком) виникає проблема, пов’язана із врахуванням поля дифузного іонізуючого випромінювання (ДІВ) у небулярному середовищі. Зазвичай, з цією метою використовують наближення *Outward-only* [1,2]. Однак, особливості неоднорідної структури небулярного середовища, отримані в процесі хемодинамічних симуляцій еволюції даних об’єктів вказують на можливу помилковість наявності іонізаційного фронту в екваторіальних секторах карликової галактики. І, дійсно, у праці [3] запропоновано процедуру детального розрахунку ДІВ під час мультикомпонентного фотоіонізаційного моделювання світіння даних об’єктів. У цій же праці автори застосували дану методику до розрахунку МФМСНС для віку 140 млн. років. У результаті іонізаційна структура екваторіальних секторів, як і очікувалося, сильно відрізняється від початкової (отриманої в результаті застосування наближення *Outward-only*).

У даній роботі ми порівнюємо результати розрахунку МФМСНС для віку 100 млн. років. При цьому початкові просторові мапи емісійностей та непрозоростей (МЕНИ) для різних частотних інтервалів (континуальних та в лініях) отримана у наближенні *Outward-only* за допомогою коду Cloudy [4]. В подальшому ця мапа використовувалася для детального розрахунку ДІВ за допомогою коду DiffRay [3]. Оновлені МЕНи використовувалися для перерахунку МФМСНС за допомогою версії Cloudy, яка використовує поле ДІВ, попередньо розраховане кодом DiffRay. У результаті було отримано іонізаційну структуру, відмінну від початкової (розрахованої у наближенні *Outward-only*), а також вказано на необхідність розрахунку наступних ітерацій Cloudy+ DiffRay.

[1] V. Melekh, S. Recchi, G. Hensler and O. Buhajenko, MNRAS **450**, 111–127 (2015).

[2] V. Melekh, S. Recchi, G. Hensler and O. Buhajenko, MNRAS **502**, 1048–1050 (2021).

[3] V. Melekh, O. Buhajenko, I. Koshmak. Стаття подана до друку у журналі MNRAS.

[4] Ferland, G.J., Hazy, a Brief Introduction to Cloudy, Version 08 (University of Kentucky Internal Report, 2008), 807 p.



ВИПРОМІНЮВАННЯ ГОКІНГА ТА УНРУ ПРИ НАДСВІТЛОВИХ ПОДОРОЖАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ВАРП-ДВИГУНА

Олексій Німчук, Юрій Кулініч

Кафедра Астрофізики, Львівський національний університет імені Івана
Франка, м. Львів, вул. Кирила і Мефодія, 8,
oleksii.nimchuk@lnu.edu.ua

Надсвітловий рух варп-двигуна викликав багато суперечок та дискусій з приводу його стабільності та проблем з причинно-наслідковими зв'язками. Крім цього у роботі [1] було виявлено, що метрика Алькуб'єрре, яка описує варп-бульбашку, є сингулярною при надсвітловому русі і при цьому утворюються чорна та біла діри зі своїми горизонтами подій, які спричиняють квантовий ефект – випромінювання Гокінга [2].

Обчислення температури випромінювання є доволі складною задачею, оскільки функція Алькуб'єрре має доволі складний вигляд, що не дозволяє зробити прості оцінки. Тому була введена нова функція, яка дозволила не тільки спростити обчислення, але й знизити ефект випромінювання при надсвітлових швидкостях. Також у випадку планківських розмірів стінок бульбашки було зроблено оцінку температури Гокінга, а пізніше, й температури Унру, яка виявилась теж “планківською”. Тому можна зробити висновок, що при правильно підібраних параметрах бульбашки можна добитися мінімального ефекту випромінювання при надсвітлових подорожах.

Також було спрощено метрику Алькуб'єрре [3] так, що вона стала при новій функції еквівалентною до метрики Шварцшильда, а пізніше метрику було зведено до метрики Ріндлера. Це привело до висновку про еквівалентність температур Унру та Гокінга у бульбашці Алькуб'єрре.

Наприкінці, враховуючи те, що випромінювання Гокінга та Унру можна описати за моделлю випромінювання абсолютно чорного тіла, було обчислено за законом Віна довжину хвилі випромінювання при заданих температурах, при якій потік випромінювання сягає свого максимуму. Проведені розрахунки показують, що довжини хвиль випромінювання Гокінга чи Унру будуть належати до радіодіапазону.

[1] Hiscock W. A. *Classical and Quantum Gravity*. **14**, 11. L183–L188 (1997).

[2] Finazzi S., Liberati S., Barceló C. *Physical Review D*. **79**, 12. 2009.

[3] Alcubierre M. *Classical and Quantum Gravity*. **11**, 5, L73–L77 1994.



НОВИЙ ПІДХІД ДО ОБЧИСЛЕННЯ ПЛОЩІ СОНЯЧНИХ ПЛЯМ

Баран Олександр, Огородник Богдан, Присяжний Андрій

Комунальний заклад Львівської обласної ради

“Львівська обласна Мала академія наук учнівської молоді”

м. Львів вул. Коперника, 42

Сонце є найближчою до нас зорею та суттєво впливає на наше життя. Однією з основних характеристик, які визначають інтенсивність сонячного випромінювання, є сонячна активність. І одним зі способів, за допомогою якого можна визначити інтенсивність сонячної активності, є спостереження за сонячними плямами. Зокрема, розрахунок їх площі, дає можливість зробити висновки про зростання чи спадання сонячної активності. У роботі розглянуто новий метод обчислення площі сонячних плям.

Оскільки при фотографуванні Сонця відбувається його проекція на площину то деякі його частини викривляються. Існує багато способів для розрахунку реальної площі плям на Сонці. У даній роботі розглянуто метод корекційних множників [1]. Він базується на домноженні кожного пікселя плями на певний множник який розраховується по формулі:

$$k = \frac{1}{\cos \theta} \quad (1)$$

де θ - геліоцентричний кут, k - корекційний множник.

Для розрахунку косинуса геліоцентричного кута θ було використано формулу (2)

$$\cos \theta = \frac{\sqrt{R_{\odot}^2 - r^2}}{R_{\odot}} = \sqrt{1 - r^2} = \sqrt{1 - \frac{1}{R_{px}^2} [(i - \frac{N}{2} + 0.5)^2 + (j - \frac{N}{2} + 0.5)^2]} \quad (2)$$

Метод був реалізований з використанням мови програмування Python та алгоритмів бібліотеки OpenCV. Для того щоб обчислити площу плями на фотографії Сонця, потрібно провести певні підготовчі роботи.

Чітко сфотографувати Сонце, доступними засобами, майже не можливо. Тому на фотографії можуть бути темніші пікселі, які не є плямами. Щоб відкинути їх з аналізу, фотографія Сонця розмивається і ті області, які дійсно є плямами на розмитій фотографії залишаються темними, а випадкові пікселі зникають. Програмно визначено темніші області на розмитій фотографії Сонця, та сформовано масив прямокутників, які їх містять. Маючи інформацію про розташування кожного прямокутника на фотографії, можна обчислити площу плям у кожній області, вже на оригінальній фотографії Сонця.

Використавши метод корекційних множників для аналізу кожного пікселя у кожному прямокутнику, отримано площу тіней та напівтіней як окремої плями так і їх сумарну площу.

Програму апробовано на фотографіях Сонця зроблених у Львівській астрономічній обсерваторії, а також на фотографіях отриманих апаратом SDO. Зроблено аналіз результатів на різних часових проміжках, та порівняння з даними з відкритих джерел.

[1] Присяжний А. І., Баран О. А., Підстригач І. Я. Визначення площі сонячних плям за даними спостережень у видимому діапазоні. І. Опис алгоритмів та їх тестування. Кінематика і Фізика небесних тіл. 2024. (подається до друку)



МУЛЬТИКОМПОНЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СВІТІННЯ ПЕРШИХ ОБЛАСТЕЙ ЗОРЕУТВОРЕННЯ

Сергій Чудик, Богдан Мелех, Ігор Кошмак

Фізичний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка, вулиця Кирила і Мефодія, 8, Львів, physics.faculty@lnu.edu.ua

Здійснено еволюційно-популяційний синтез процесів зореутворення у карликових галактиках в проміжку між епохами космічних Світанку та Полудня. Використовуючи залежність швидкості зореутворення та маси гало (попередників карликових галактик) від червоного зміщення [1, 2], а також приймаючи різні значення співвідношень між баріонною та повною масою гало, розраховано мультикомпонентні фотоіонізаційні моделі світіння небулярної складової карликових галактик при $z = 8$ (епоха космічного світанку) методом, представленим у праці [3]. Моделі розраховано для двох різних значень максимально можливої маси зорі в області зореутворення ($100 M_{\odot}$ і $1000 M_{\odot}$) з урахуванням гідродинамічної еволюції зони Н II карликової галактики, спричиненої дією супервітру. Аналізуються та порівнюються іонізаційні структури отриманих моделей та їх еволюція.

[1] Piero Madau and Mark Dickinson. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **52** 415 – 486 (2014).

[2] Olof Nebrin, Sambit K Giri, Garrelt Mellema. *MNRAS.* **524**, 2290 – 2311 (2023).

[3] Кошмак І. О. Моделювання світіння низькометалічних зон Н II які оточують області спалахового зореутворення (Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук, Львів, 2018).



СЕКЦІЯ G

КОМП'ЮТЕРНА ЕЛЕКТРОНІКА ТА ВБУДОВАНІ СИСТЕМИ

SECTION G

COMPUTER ELECTRONICS AND EMBEDDED SYSTEMS



СИСТЕМА ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Святослав Баб'як, Ігор Оленич

Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Драгоманова, 50, 79005 м. Львів, Україна, frageks@gmail.com

Забруднення повітря стає однією з найважливіших проблем, яка становить серйозну загрозу для здоров'я людей і має фундаментальний вплив на глобальну зміну клімату. Основними антропогенними забруднювачами повітря вважають тверді мікрочастинки розміром до 2.5 мкм (PM2.5), які можуть потрапляти глибоко в легені та кровоносну систему людини [1]. Такі мікрочастинки мають здатність адсорбувати інші токсичні речовини на своїй поверхні, що призводить до додаткових негативних наслідків. Це ускладнює визначення безпечного рівня концентрації мікрочастинок та потребує комплексного підходу до моніторингу забруднення атмосфери та аналізу різних факторів, які впливають на якість повітря. Зважаючи на складні залежності забруднення повітря від метеорологічних умов, топографії місцевості, випадкових флуктуацій внаслідок атмосферної турбулентності тощо, одержання додаткових сенсорних даних і встановлення нових закономірностей може підвищити точність розроблювальних моделей аналізу якості повітря [2].

У роботі реалізовано систему моніторингу забруднення повітря в рамках парадигми IoT, яка передбачає обмін даними між взаємозв'язаними сенсорними пристроями та комп'ютерними системами в автоматичному режимі з використанням бездротових телекомунікацій і стандартних протоколів зв'язку. Як платформу для збору та опрацювання сенсорних даних використано мікроконтролер Arduino UNO R4 WiFi, до якого під'єднані сенсор твердих мікрочастинок HM-3301 та аналізатор рівня CO₂ MH-Z19B. Одержані дані система передає на Node.js веб-сервер з використанням HTTP-протоколу для їх зберігання в базі даних MySQL та подальшого аналізу. Крім того, сервер одержує інформацію з веб-ресурсу <https://www.weatherapi.com> щодо поточних погодних умов (дані про температуру, вологість, напрям і швидкість вітру) у заданій місцевості. Для аналізу використано дані про забруднення повітря та метеорологічні умови у м. Новояворівську з 14 листопада 2023 р. по 14 січня 2024 р.

На основі аналізу добового розподілу забруднення повітря та даних про напрям і швидкість вітру виявлено можливі джерела забруднення у м. Новояворівськ. Встановлено кореляційний зв'язок між концентрацією твердих мікрочастинок PM₁, PM_{2.5} та PM₁₀ і молекул CO₂ в атмосфері та температурою і швидкістю вітру. Визначено коефіцієнти лінійної кореляції та параметри лінії регресії, що дає змогу побудувати кореляційні моделі залежності рівня забруднення повітря від метеорологічних факторів: температури повітря та швидкості вітру. Запропонована система моніторингу якості повітря може бути корисною для регіонів, не охоплених глобальною системою моніторингу атмосфери.

[1] N. Kunzli, M. Jerrett, W.J. Mack et al., *Environmental Health Perspectives*, **113**, 201 (2005).

[2] P. Kortoci, N.H. Motlagh, M.A. Zaidan et al., *Smart Health*, **23**, 100241 (2022).

[3] W.Y. Yi, K.M. Lo, T. Mak et al., *Sensors*, **15**, 31392 (2015).



CHALLENGES IN MACHINE LEARNING DEVELOPMENT WITH AMAZON SAGEMAKER

Yevhen Bershchanskyi, Halyna Klym

Lviv Polytechnic National University, Ukraine; e-mails:

yevhen.v.bershchanskyi@lpnu.ua, halyna.i.klym@lpnu.ua

Amazon SageMaker is a cloud service provided by Amazon Web Services (AWS) that simplifies the process of building, training, and deploying ML models. Companies encounter challenges that make the ML development process more complex. One common challenge is data preparation [1]. ML models require large amounts of data to learn from, but preparing this data can be time-consuming. Another one is model development, which involves selecting the right algorithms and parameters to achieve optimal performance. Deploying and scaling requires managing resources and ensuring that the model performs well in production environments.

Developing ML models has a challenge of various options and configurations available for model development. This includes selecting the right algorithms that best suit the data and problem at hand, as well as fine-tuning hyperparameters to optimize model performance. Algorithm selection is crucial and choosing the wrong one can lead to suboptimal results. Hyperparameter tuning is a tedious process that requires experimenting with different parameter values to find the optimal combination that maximizes model performance. Model optimization is an ongoing process that may require iterative adjustments to improve performance.

Deploying and scaling ML models with SageMaker presents several challenges like model deployment latency, where low latency is critical. Scaling ML models to accommodate high-traffic applications requires dynamically adjusting resources to meet demand. This involves load balancing, scaling, and resource optimization to ensure that the system can handle spikes in traffic without compromising latency. SageMaker offers features like auto-scaling and managed endpoints to simplify deployment and scaling, there are still areas for improvement.

Monitoring and maintaining deployed ML models requires ensuring model performance and reliability over time, as deployed models may experience drift in their input data [2]. Detecting and addressing model drift is essential to maintain the accuracy and effectiveness of deployed models. Performance monitoring is another aspect of model maintenance, requiring to continuously track key metrics: inference latency, throughput, and error rates. Identifying performance bottlenecks and addressing them is crucial to ensure that deployed models meet service-level objectives and deliver satisfactory user experiences.

In conclusion, the complexities of SageMaker for machine learning (ML) development involve addressing challenges from data preparation to model deployment and maintenance. Overcoming these hurdles is crucial for successful ML development with SageMaker, ensuring reliability and performance in real-world applications. ML platforms will continue to play a vital role in driving innovation. By addressing the challenges outlined in this article, developers can leverage SageMaker's capabilities to unlock new possibilities in ML development.

[1] Singh, H., & Singh, H. (2021). Data Processing in AWS. *Practical Machine Learning with AWS: Process, Build, Deploy, and Productionize Your Models Using AWS*, 89-117.

[2] Muppala, S., DeFauw, R., & Eigenbrode, S. (2021). *Amazon SageMaker Best Practices: Proven tips and tricks to build successful machine learning solutions on Amazon SageMaker*. Packt Publishing Ltd.



РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ДИЛАТОМЕТРИЧНИХ ТА ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ НА БАЗІ ROBOT OPERATING SYSTEM

Олексій Вишневський, Ігор Гірник, Юрій Еліяшевський.

Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Кирила і
Мефодія 8, м. Львів, 79005, e-mail:Oleksii.Vyshnevskiy@lnu.edu.ua

На сьогоднішній день одним з найбільш перспективних функціональних програмних середовищ для створення автоматизованих та роботизованих систем є Robot Operating System (ROS). Це відкрите програмне забезпечення для розробки роботів, яке використовує загальну платформу для створення, тестування та розгортання робототехнічних а також автоматизованих систем. ROS розробляється відкрито під ліцензією BSD з дозволом на вільне використання. Екосистема ROS є однією з її найсильніших сторін, оскільки дозволяє будь-якій групі створювати власний репозиторій відкритого коду ROS, що дозволяє покращувати проект за рахунок комунікації з іншими групами [1].

Дилатометричний метод дослідження фізичних властивостей широко використовується для визначення температурних змін лінійних розмірів та коефіцієнта лінійного розширення матеріалів, що дозволяє отримувати інформацію про послідовність фазових переходів у кристалічних матеріалах. Метод ємнісної дилатометрії є одним з найбільш точних, оскільки зміна лінійних розмірів зразка реєструється за рахунок зміни електричної ємності еталонного конденсатора [2].

Компоненти та методи роботи дилатометра: Прилад складається з термоізоляційного корпусу, який забезпечує температурну стабілізацію та контрольовану зміну температури зразка по заданому алгоритму, еталонного електричного конденсатора для фіксації лінійних змін розмірів зразка та нагрівального елемента для підвищення точності стабілізації температури. Спеціалізований програмно-апаратний комплекс має контролювати зміну температури протягом тривалого часу в температурних межах 350-77 К, одночасно реєструючи дані з вимірювальних пристроїв та їх збереження. Контроль температури є складним завданням через вимоги до високої точності та стабільності.

Розробка програмного комплексу: Ми використовуємо модульний підхід за допомогою фреймворку ROS, що є гнучкою платформою для написання програмного забезпечення. ROS включає збірку інструментів, бібліотек та конвенцій, спрощуючи створення складних та масштабованих систем. Це дозволяє створювати програмний код на будь-якій сучасній мові програмування та інтегрувати його в систему, забезпечуючи значну гнучкість і можливість легкого перевикористання коду для автоматизації різних установок.

Інтеграція з EDGE системами та штучний інтелект: Завдяки гнучкості ROS, ми можемо інтегрувати наші дані з EDGE системами та використовувати аналітичні дані. Оперуючи великим обсягом даних, легко інтегрувати нейронні мережі для передбачення налаштувань нашого пристрою, значно покращуючи якість проведення експерименту, його точність та стабільність.

[1] <https://www.ros.org/>

[2] І. С. Гірник, В. Б. Капустяник, Ю. В. Чорній, О. В. Вишневський, В. А. Давидович, Кварцовий дилатометр, Заявка на корисну модель № u202305113, 31.10.2023, ЛНУ ім. І. Франка.



DISTRIBUTED IMAGE PROCESSING USING APACHE KAFKA

Nazar Karpiuk, Halyna Klym

Lviv Polytechnic National University, Stepan Bandera Str., 12, Lviv 79000,
karpiuk.nazar@gmail.com, halyna.i.klym@lpnu.ua

The surge in real-time image processing demands necessitates novel solutions beyond conventional centralized architectures [1]. This research explores the development and performance assessment of a distributed environment employing Apache Kafka for near real-time image processing. We propose a decentralized approach that separates image ingestion, processing, and output, facilitating parallel processing across a cluster of computing nodes.

The primary objective of this study is to investigate the efficacy of Apache Kafka for distributed image processing in a near real-time setting. We aim to showcase the feasibility, advantages, and limitations of this approach. Through performance evaluation, we will analyze the impact of factors such as topic partitioning, consumer group configuration, and processing workload. Ultimately, this research seeks to establish the proposed environment as a robust solution for near real-time image processing tasks, paving the way for efficient and scalable image analysis applications.

Apache Kafka is a distributed streaming platform that excels at handling real-time data streams [2]. It enables real-time processing by separating data producers from consumers. Producers send data events to topics, which are categorized channels. Consumers subscribe to relevant topics and process the events as they arrive. This decoupled architecture allows for independent scaling of each component. Additionally, Kafka partitions topics to enable parallel processing for high throughput.

Kafka's capabilities are well-suited for near real-time image processing. Images are first converted into a suitable format for Kafka and sent to designated topics. Consumer applications then subscribe to relevant topics, continuously pulling and processing the image data. This enables tasks like object detection in real-time. However, there are challenges to consider. Image data requires significant processing power and bandwidth, and Kafka lacks native image processing functionalities [3]. Nevertheless, research is ongoing to explore Kafka's potential in this domain, with promising applications in video surveillance, medical imaging, and more.

- [1] A Study of a Scalable Distributed Stream Processing Infrastructure Using Ray and Apache Kafka / K. Kato et al. 2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), Seattle, WA, USA, 10–13 December 2018. 2018.
- [2] Blamey B., Hellander A., Toor S. Apache Spark Streaming, Kafka and HarmonicIO: A Performance Benchmark and Architecture Comparison for Enterprise and Scientific Computing. Benchmarking, Measuring, and Optimizing. Cham, 2020. P. 335–347.
- [3] Kim Y.-K., Jeong C.-S. Large Scale Image Processing in Real-Time Environments with Kafka. Second International Conference on Computer Science, Information Technology and Applications. 2017.



ВДОСКОНАЛЕННЯ НАСТІЛЬНОГО ГОДИННИКА ЗА ДОПОМОГОЮ АНАЛІЗУ МІКРОКЛІМАТУ, ГОЛОСОВОГО АСИСТЕНТА ТА POMODORO-ТАЙМЕРА

Дмитро Козлюк, Іван Жолубак

Національний університет «Львівська політехніка», 79013, м. Львів. вул. Степана Бандери, 12, dmytro.kozliuk.ki.2020@lpnu.ua,
ivan.zholubak@lpnu.ua

У даній роботі розглядається інноваційний настільний розумний годинник, який включає функції аналізу мікроклімату, голосового асистента та таймера Pomodoro, що демонструє цілісний підхід до управління робочим часом та середовищем, може значно збільшити комфорт і концентрацію, а також сприяти підвищенню ефективності виконання задач, що робить такий годинник незамінним помічником в сучасному робочому просторі. Важливо правильно розуміти термін «розумний» в контексті годинників. Це не означає, що ці пристрої мають когнітивні здібності або можуть мислити самостійно, «розумний» означає включення передових технологічних функцій.

Потреба в модернізації та розробці власного настільного розумного годинника впливає не лише з особистих потреб, але й з вивчення загальних потреб групи людей, які проводять значну частину свого часу у фіксованому просторі, такому як офіси чи навчальні аудиторії за роботою та навчанням та з недоліків, виявлених у існуючих продуктах. Проаналізувавши їх я зрозумів, що поточні рішення на ринку є заточеними під вирішення конкретних задач і немає рішення, яке б поєднувало в собі функції годинника, голосового асистента, зручного сенсорного екрану, таймера pomodoro та аналізу мікроклімату, необхідного для здорової та продуктивної життєдіяльності людини, з можливістю реєстрації даних на сервері для відстеження статистики. Більше того - за доступною ціною. Зручніше мати на робочому місці один універсальний пристрій, ніж кілька, заточених під конкретну задачу.

Для виконання поставленої задачі використано мікропроцесор ESP32-S3, завдяки його високій обчислювальній потужності та підтримкою машинного навчання. Реалізація – розпізнавання голосових команд базується на поєднанні хмарного сервісу WitAI та Tensor Flow Lite моделлю, яка працює на пристрої, забезпечуючи миттєву реакцію на користувача. Для детального моніторингу навколишнього середовища використовуються датчики MH-Z19B, BH1850, BME280 які аналізують CO₂, освітленість, температуру та вологість. Інтеграція з сервісом AWS Cloud дозволить моніторити дані параметри та pomodoro сесії із статистикою. Також система буде інформувати користувача при відхиленні параметрів середовища через голосові сповіщення через динамік з підсилювачем MAX98357 класу D. Використання сенсорного LCD екрану ILI934 робить взаємодію з годинником інтуїтивно зрозумілою та зручною. Мікрофон INMP441, який побудований на MEMS технології, дозволить зменшити обчислювані ресурси МК за рахунок вбудованого АЦП. Інтеграція технології pomodoro в інтелектуальний настільний пристрій не тільки підвищує продуктивність, але й демонструє, як традиційні методи можна адаптувати для сучасних технологічних пристроїв.

[1]. P. Wolkoff, K. Azuma, P. Carrer Journal of Hygiene and Environmental Health. **233** (2021).

[2]. W. E.Septiani, European Modern Studies Journal. **7**, 5 5. (2023).



ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ДОГЛЯДУ ЗА РОСЛИНАМИ

Роман Коростенський, Михайло Павлик, Ігор Оленич

Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Драгоманова, 50, м. Львів, Україна, roman.korostenskyi@lnu.edu.ua

Розвиток інформаційних технологій та індустрії домашньої автоматизації революційно змінили наш побут завдяки створенню багатьох IoT пристроїв і реалізації інноваційних рішень для повсякденного комфорту. Інтеграція різноманітних приладів в інтелектуальну систему забезпечує не тільки безпеку, комфорт та економію ресурсів, але й функціонування розумного будинку без втручання людини [1,2]. Органічне поєднання у розумному будинку різних підсистем обслуговування та управління за допомогою передових технологій дає змогу використовувати енергетичні та інші ресурси тільки у потрібний час і в необхідній кількості. Тому розробка енергоефективних та економних вбудованих систем, призначених для задоволення конкретних потреб мешканців розумних будинків, є одним із актуальних напрямків досліджень у сфері розумних рішень та IoT [3]. Збільшення обчислювальної потужності мікрокомп'ютерів і поява нових інструментів для розгортання нейромереж на мобільних пристроях та інших вбудованих системах відкриває нові можливості для розвитку систем розумного будинку [4].

У роботі розроблено інтелектуальну систему для автоматичного поливу кімнатних рослин на основі мікрокомп'ютера Raspberry Pi. Запропонована система використовує сенсор SEN0308 для аналізу вологості ґрунту у заданий час і, за необхідності, активує механізм поливу заданим об'ємом води. Такий підхід дає змогу виключити участь людини в процесі поливу, проте у разі виявлення критичних помилок (наприклад, вичерпання води у резервуарі) передбачена можливість надсилати сповіщення з використанням стандартних протоколів зв'язку. З метою оптимізації витрат води для поливу функціональність системи догляду за рослинами була розширена за допомогою технології штучного інтелекту. Навчання моделі здійснювалось на основі даних про вологість ґрунту та об'єм використаної води для поливу. Для оптимізації ваг нейромережі використовувався алгоритм зворотного поширення помилки з адаптивним градієнтним оптимізатором Adam. Запропонована інтелектуальна система догляду за рослинами може автоматично регулювати об'єм використаної для поливу води залежно від потреб рослини та умов навколишнього середовища. Застосування технології штучного інтелекту забезпечує ефективний полив кімнатних рослин, мінімізуючи при цьому споживання води та підтримуючи оптимальний рівень вологості ґрунту. Експериментально встановлено, що економія води для поливу рослин може досягати 24 %. Запропонований підхід також можна використати для підвищення ефективності вирощування сільськогосподарських культур.

[1] T.D.P. Mendes, R. Godina, E.M.G. Rodrigues, J.C.O. Matias, J.P.S. Catalao, *Energies*, **8**, 7279 (2015).

[2] O. Taiwo and A.E. Ezugwu, *Security and Communication Networks*, **2021**, 9928254 (2021).

[3] U. Mir, U. Abbasi, T. Mir, S. Kanwal, S. Alamr, *IEEE Access*, **9**, 94132 (2021).

[4] C. Tang, C. Qiu, X. Xiao, *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, **5**, 100260 (2023).



BLE RANGING PERFORMANCE UNDER STRONG WI-FI INTERFERENCE

Nazarii Kotliar, Igor Kravets, Andrii Luchechko

Department of Sensor and Semiconductor Electronics, Ivan Franko
National University of Lviv, Tarnavskogo Str. 107, Lviv, 79017, Ukraine
nazarii.kotliar@gmail.com

The Internet of Things (IoT) is widely popular nowadays. In the next decade, the number of IoT devices is supposed to reach 50 billion [1] because of the cheap narrow-band systems available, such as Bluetooth Low Energy (BLE) or Zigbee, aimed at the healthcare, fitness, beacons, security, and home entertainment industries. The basic required functionality for these applications is the distance estimation between two devices which later might be used with localization purpose. The distance between the two radio systems can be estimated based on the following approaches: Received signal strength indicator (RSSI), Time-of-flight (ToF)/Time-difference-of-arrival (TDoA), and Phase-Based Ranging (PBR).

Phase-Based Ranging (PBR) requires measurement of In-phase and quadrature (IQ) components at several frequencies – transfer function [2]. For channel impulse response, determining spectral methods can be used, such as Inverse Fourier Transform (IFT) [3] and Multiple Signal Classification (MUSIC) [4]. The last one is less sensitive to noise but requires incoherent signals for estimating multiple rays correctly. Otherwise, the estimated distance would be the same as IFT:

$$\hat{h}_k^{(2)} = \left(I - \left(\hat{h}_k^{(1)} / \lambda_{max} \right)^2 \right)^{-1}, \quad (1)$$

where $\hat{h}_k^{(1)}$ – IFT value for the k-th distance, $\hat{h}_k^{(2)}$ – MUSIC value for the k-th distance, λ_{max} – eigenvalue of the measured signal. In order to decorrelate the signal, spatial smoothing is needed [5]. Also, it increases the resolution of the pseudospectrum.

Wi-Fi does not influence distance estimation accuracy much because it behaves like white noise. In particular, bias errors almost do not change, and random errors increase by 3-4 times if no corrections are used. BLE PBR estimation is good enough to identify a location within 10 meters even if the initiator or reflector is located next to the Wi-Fi router.

The easiest way to correct IQ data is to multiply them by zero at damaged frequencies, also known as blacklisting. However, it can add fake lobes to the pseudospectrum due to the convolution of the blacklist and transfer function. Because of it, several technics are used for reconstructing data at blacklisted frequencies [6].

- [1] “Number of Internet of Things (IoT) connected devices worldwide from 2019 to 2030,” available at: <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>.
- [2] P. Zand, J. Romme, J. Govers, F. Pasveer, and G. Dolmans, in: IEEE Wireless Commun. and Network. Conf. (2019), pp. 1–8.
- [3] A. Dutt, and V. Rokhlin, SIAM Journal on Scientific computing, **14**, 1368-1393 (1993).
- [4] W. Liao, and A. Fannjiang, Appl. Comput. Harmon. Anal, **40**, 33–67 (2016).
- [5] T.-J. Shan, M. Wax, and T. Kailath, in: IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing (1985), V. 33, pp. 806-811.
- [6] A. Sheikh, J. Romme, J. Govers, A. Farsaei and C. Bachmann, in: IEEE Internet of Things Journal (2023), V. 10, pp. 15171-15185.



ARCHITECTURAL APPROACHES IN MICRO-FRONTEND IMPLEMENTATIONS

Oleksandr Stepanov, Halyna Klym

Lviv Polytechnic National University, Stepan Bandera Str., 12, Lviv 79000,
oleksandr.v.stepanov@lpnu.ua, halyna.i.klym@lpnu.ua

The increasing complexity of software development has led to the emergence of micro-frontend architecture as a solution, breaking down large monolithic applications into smaller, independently deployed units called micro-interfaces. The article explores optimal architectural approaches in micro-frontend development. Microservice architecture, organizing applications as loosely coupled services, offers advantages in scalability and isolation. However, it poses challenges in minimizing connections and maintaining API interfaces. While micro-frontend architecture enhances modularity and testing speed, it also presents challenges such as code duplication and isolation issues.

Micro-frontend architecture offers advantages like modular architecture, independent testing, and parallel deployment, but also presents challenges such as code duplication and complexity, especially in small projects. The implementation of micro-frontends involves deciding between horizontal and vertical distribution, each suitable for different types of applications, with horizontal distribution facilitating multiple micro-frontends in one view and vertical distribution loading one micro-frontend per unit of time. Orchestration involves effectively managing the loading and unloading of micro-interfaces, with methods like server-side view assembly and application shell usage. Integration methods range from software development integration to runtime integration, each with its own trade-offs for flexibility and complexity. Communication between micro-interfaces requires effective channels while maintaining weak coupling, with options like event emitters and web storage. Empirical performance comparison demonstrates the advantages of Module Federation in terms of load time and content rendering speed compared to monolithic architectures.

The article discusses optimal architectural approaches for micro-interfaces, highlighting the importance of finding a balance between various factors. Two hybrid architecture solutions are proposed: one combining server-side rendering (SSR) and client-side composition (CSC), and another combining client-side compositions with build-in integration using Module Federation. The conclusion suggests exploring hybrid architectures to improve system speed and SEO optimization.

- [1] A. Petcu, M. Frunzete, D.A. Stoichescu (2023), Benefits, challenges, and performance analysis of a scalable web architecture based on micro-frontends. University Politehnica of Bucharest, Scientific Bulletin., Series C, 85(3), p. 319-334.
- [2] R.P. Pontarolli, J.A. Bigheti, L.B.R. de Sá, E.P.L. Godoy (2023). Microservice-Oriented Architecture for Industry 4.0. Eng 2023, 4, p. 1179-1197.
- [3] J. Soldani, D.A. Tamburri, W.J. Van Den Heuvel, (2018). The pains and gains of microservices: A systematic grey literature review. Journal of Systems and Software, 146, p. 215–232.
- [4] D.S. Terdal, (2022). Microservices enabled e-commerce web application. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 10(7), p. 3548–3555.
- [5] J. Zhou, L. Yang, J. Wu, (2023). Micro-frontend architecture base. Sixth International Conference on Computer Information Science and Application Technology (CISAT 2023). <https://doi.org/10.1117/12.3003818>.



ENHANCING RESIDENTIAL AIR QUALITY MONITORING THROUGH ADVANCED FILTRATION TECHNIQUES AND INTEGRATED SENSOR DATA FUSION USING AN Arduino UNO-BASED SYSTEM

Ivan Rudavskiy, Halyna Klym

Lviv Polytechnic National University, Stepan Bandera Str., 12, Lviv 79000,
ivan2001rud@gmail.com, halyna.i.klym@lpnu.ua

This paper presents a sophisticated air quality monitoring system developed to address the growing concerns over indoor air pollution and its impact on health and comfort. The primary objective of this study is to design and implement a system that employs advanced sensor technologies and data processing methodologies to provide accurate and real-time assessments of indoor air quality (IAQ). The integration of multifunctional sensors enables the system to not only monitor key air quality parameters but also enhance the overall reliability and effectiveness of IAQ monitoring through the fusion of sensor data and the application of moving average filter.

The air quality monitoring system, which is centred on the Arduino Uno microcontroller, utilises multifunctional sensors such as the BME680 and CCS811 in order to accurately track various IAQ metrics, including temperature, humidity, atmospheric pressure, CO₂, and VOC concentrations. This integration is further enhanced by advanced sensor data fusion and filtration techniques, including a moving average filter, which collectively enhance the system's accuracy and reliability by reducing noise and mitigating sensor biases. The data processed by these sensors is displayed on the NX3224T028 screen, which improves user engagement. Furthermore, an audible warning system alerts user when air quality levels surpass predetermined thresholds. The combination of these features and technologies addresses the growing demand for intelligent home systems, optimises performance, and provides actionable insights for improving indoor air quality and safety.

Two distinct experiments were conducted to assess variations in indoor air quality. The first experiment focused on analysing air quality variations across different rooms (bedroom, kitchen and bathroom) within a single building over a 10-day period. Systematic measurements were taken at 1:00 PM daily following a 30-minute sensor calibration. This rigorous approach enabled an in-depth examination of the unique air quality dynamics in each living space. The second experiment investigated the impact of fragrance products, including aromatic diffusers, perfumes, and aerosol sprays, on IAQ. Advanced analytical methods were employed to measure concentrations of carbon CO₂ and VOC, which are essential for evaluating indoor air ventilation efficiency and the presence of potentially hazardous compounds released by these products. These studies collectively enhance the understanding of IAQ factors influenced by both architectural variations and common household products.

[1] M. Khatib, H. Haick, *ACS nano*, **16**(5), 7080-7115 (2022).

[2] D. Bousiotis, L. N. S. Alconcel, D. C. Beddows, R. M. Harrison, F. D. Pope, *Environment International*, **174**, 107907 (2023).

[3] C. De Capua, G. Fulco, M. Lugarà, F. Ruffa, *Sensors*, **23**(8), 3999 (2023).



МІКРОКОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЛЬОРУ ФІЗИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Тетяна Скалій

Національний університет "Львівська політехніка", вул. Степана Бандери,
12, м. Львів, 79000, tetiana.skalii.ki.2020@lpnu.ua

Швидкість та точність визначення кольору фізичних об'єктів має дуже важливе значення в промисловому контролі якості, медичній діагностиці, а також у сфері дизайну. Традиційні методи визначення кольору передбачають візуальний огляд, який може бути тривалим та схильним до помилок. Ця робота розкриває розробку мікрокомп'ютерної системи, здатної визначати колір фізичних об'єктів за допомогою мікропроцесора STM32F030C6 та датчика кольору TCS3472. Основною метою даної розробки є покращення процесу визначення кольору та створення основи для майбутніх досліджень у сфері обробки зображень та комп'ютерного зору.

Ядром мікрокомп'ютерної системи є STM32F030C6, який за допомогою інтерфейсів SPI та I2C обмінюється даними з кольоровим сенсором та LCD-дисплеєм відповідно. Давач TCS3472 працює за принципом вимірювання інтенсивності світла в різних каналах (RGB). Отримані результати аналізуються та виводяться на графічний індикатор, забезпечуючи користувачеві зручний спосіб візуалізації отриманої інформації. Архітектурно мікрокомп'ютер поділений на кілька вузлів, кожен з яких має своє функціональне завдання. Вузол скидання відповідає за перезавантаження системи до початкового стану або відновлення налаштувань до заводських параметрів. Це важливо для забезпечення стабільності та надійності у випадку проблем або неполадок. Вузол синхронізації відповідає за генерацію тактових сигналів, які координують роботу всіх компонентів мікропроцесора. Вузол живлення забезпечує потрібні напругу, струм та інші параметри для роботи всіх інших компонентів системи.

Для підтвердження продуктивності мікрокомп'ютерної системи було проведено серію експериментів з використанням фізичних об'єктів із різноманітними кольірними характеристиками. Експерименти передбачали систематичне вимірювання кольору різних матеріалів, включаючи тканини, фарби та природні поверхні, в умовах контрольованого освітлення. Результати продемонстрували здатність системи точно визначати колір тестованих об'єктів із високим ступенем точності та повторюваності. Отримані системою значення порівнювались з реальним кольором об'єктів. Результати показали сильну кореляцію, підтверджуючи надійність і ефективність системи. Розроблена мікрокомп'ютерна система є перспективним рішенням для автоматизованого виявлення кольорів у різних галузях, де точність та ефективність є критично важливими.

- [1] В.І. Бойко, А.М. Гуржій, В.Я. Жуйков та ін., Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. Кн. 3. Мікропроцесори та мікроконтролери: Підручник, 2-ге вид., допов. і переробл., Вища шк., Київ (2004), с.399.
- [2] R. Lukac, K. N. Plataniotis, Color Image Processing: Methods and Applications, (2007), 600p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315221526>.
- [3] Andrew Colin, Programming for Microprocessors, Newnes, (2014), 216p.



ВІДМІННОСТІ У РЕАЛІЗАЦІЇ ПРИНЦИПІВ ТЕХНОЛОГІЇ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПРОГРАМУВАННЯ В МОВАХ ОБ'ЄКТ PASCAL (DELPHI) І VISUAL C++

Захар Держко, Іван Хвищун

Львівський національний університет імені Івана Франка, факультет електроніки та комп'ютерних технологій, м. Львів вул. Драгоманова, 50.
zakharderzhko@gmail.com, xiocompan@gmail.com

Обидві мови є гібридними, оскільки вони дозволяють створювати програми у двох технологіях: процедурній і об'єктно-орієнтованій (ООП) [1, 2]. Мова Delphi має мінімальну кількість варіантів синтаксичних конструкцій, які відносяться до технології ООП, а у C++ – їхня кількість є надмірною, що ускладнює вивчення основ цієї технології для початківця.

Головні відмінності цих двох мов програмування:

- У Delphi є єдиний варіант об'єктної моделі, який співпадає із відповідними моделями у мовах C# і Java. У C++ об'єкти можна створювати на основі ключових слів `class`, `struct`, `union`, а самі об'єкти розташовують або у сегменті стеку програми, або у сегменті даних програми, або у динамічній пам'яті (`heap`).
- У Delphi синтаксичні конструкції, які стосуються ООП, мають відповідні назви: `Constructor`, `Destructor`, `Properties`, `Events`, в той час, як у C++ назва конструктора і деструктора співпадає із назвою відповідного класу, а властивості складаються із двох частин – гетера і сетера.
- При успадкуванні у Delphi кожен клас-нащадок має одного предка. У C++, крім звичайного, існує множинне успадкування, при якому клас-нащадок може мати декілька батьківських класів і може використовувати їхню функціональність. Однак, остаточно не визначено, чи є корисним множинне успадкування. У таких мовах, як Java, C# множинне успадкування не використовується.
- У Delphi існують шість специфікаторів доступу: `Private`, `Public`, `Protected`, `Published`, `Strict` та `Automated`. У C++ є лише три специфікатори доступу – `private:`, `public:` і `protected:`.
- У Delphi є два варіанти віртуальних методів, `Virtual` – для оптимізації коду по швидкодії і `Dynamic` – для мінімізації затрат оперативної пам'яті, а в C++ є тільки ключове слово `virtual`.
- У Delphi є процедурний тип даних, який грає роль делегату, що є у мовах C# і Java. Цей тип даних використовують для обробки подій. У C++ наближеним аналогом цього поняття є вказівник на функцію. При його використанні, компілятор не контролює сигнатуру функції.
- У C++ є поняття віртуальних класів, які використовують при множинному успадкуванні для усунення колізії імен. Оскільки в Delphi множинне успадкування є відсутнє, то віртуальні класи там не потрібні.
- Мова C++ широко використовує поняття вказівника, що надає їй значної потужності, але, одночасно, є джерелом небезпечних ситуацій. В об'єктно-орієнтованих проєктах мови Delphi вказівники майже не використовують, оскільки її об'єктна модель є посилального типу. У мові Java вказівники відсутні, а в C# їх виділяють у блок так званого “небезпечного коду”.
- Відомий лише один стандарт мови Object Pascal (ISO/IEC 1991), в той час, як з 1998 року по 2019 рік з'явилося щонайменше 5 стандартів C++ [3].



Проведений порівняльний аналіз особливостей мов програмування Delphi і C++ показує, що для початківців краще починати своє знайомство з принципами технології ООП із вивчення мови Delphi. Більше того, сучасний варіант цієї мови є крос-платформним, оскільки він дозволяє створювати програмні додатки для п'яти операційних систем: Windows, Android, MacOS, iOS та Linux.

[1] Strastrup Bjarne. PROGRAMMING. Principles and Practice Using C++. Addison-Wesley Publishing. 2009, p. 1248.

[2] Cantu Marco. Delphi 2010 Handbook, Piacenza (Italy), 2021. – 318 p.

[3] Josuttis Nicolai M. C++17 – The Complete Guide. The Lean Publishing, 2019. p. 430

ПРИЛАДОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛЬОВИХ ТРАНЗИСТОРІВ ІЗ КАНАЛОМ У ВИГЛЯДІ ДВОВИМІРНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Іван Бурик¹, Сергій Павленко¹, Антон Биркун¹, Лариса Однодворець¹,
Микола Бурик², Олександр Лісовий²**

¹Сумський державний університет, вул. Харківська, 116, Суми, Україна, 40007,

² Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Берестейській проспект, 37, Київ, Україна, 03056

i.buryk@aph.sumdu.edu.ua

Для вирішення ряду проблем, пов'язаних з масштабуванням структур транзисторів, дослідники мають значний інтерес до двовимірних матеріалів (2D). Вони мають листоподібну структуру з товщиною одного або кількох атомних шарів. Завдяки своїй субнанометровій товщині каналу носії заряду рухаються в межах одноатомного або багатоатомного каналу. Застосування графеноподібних матеріалів як каналів у польових транзисторах обмежене низькою рухливістю носіїв заряду в них. У даній роботі розглянуті робочі характеристики польового транзистора з каналом у вигляді двовимірного матеріалу, приведені основи моделювання таких структур за допомогою середовищ Silvaco TCAD, NanoHub та ін. Результати демонструють їх вищу продуктивність порівняно з іншими польовими транзисторами. Чисельне моделювання робочих характеристик транзистора з каналом у вигляді двовимірного матеріалу розкриває проблематичні аспекти та особливості застосування 2D матеріалів в інженерії електронних пристроїв. Отримані результати демонструють прийнятні значення електричних параметрів і можуть бути застосовані для подальшого приладового комп'ютерного моделювання. Варто зауважити, що 2D матеріали мало змінюють рухливість носіїв заряду при зменшенні товщини. Крім того, якщо багатошарові структури не конкурують з об'ємними матеріалами (такими як Si або GaAs), тоді як 2D матеріали часто демонструють очевидні переваги у діапазоні товщини менше 3 нм, що є критичним для розширення масштабування транзисторів. Рухливість носіїв у Si стрімко зменшується з товщиною нижче 5 нм, тоді як рухливість 2D матеріалів менш залежить від товщини і значно вища у цьому випадку.

Основні етапи приладового моделювання польових транзисторів із каналом у вигляді 2D матеріалів: створення геометричної моделі, яке включає визначення розмірів транзистора, розташування електродів (затвор, стік та витік) і властивостей матеріалів; генерація обчислювальної сітки окремих областей транзистора для



чисельного аналізу; встановлення граничних умов на контактних поверхнях для симуляції зовнішніх впливів (наприклад, прикладення напруги до затвору, впливу температури, тощо); використання чисельних методів для розв'язання системи транспортних рівнянь; оцінка робочих характеристик транзистора, таких як сила струму стік-витік, коефіцієнт підсилення, порогова напруга тощо. Поряд з цим у класичній теорії для визначення густоти струму носіїв, коефіцієнтів генерації, рекомбінації та інших параметрів як базові використовують традиційні рівняння Пуассона та безперервності. У даній роботі для прогнозування в Silvaco TCAD робочих характеристик польового транзистора із каналом у вигляді Mo_2S було застосовано дифузійно-дрейфову транспортну модель із статистикою Фермі-Дірака. Врахування квантового потенціалу Бома дозволило подолати проблеми її апробації при проявленні ефектів короткого каналу.

Як приклад на рис. 1 наведено структуру в масштабі мікронної шкали та передавальні вольт-амперні характеристики для польового транзистора із каналом у вигляді MoS_2 . Порогова напруга була визначена для зміщення стоку 0,03 В та 0,60 В, при цьому на затворі напруга змінювалася від 0 В до 1,20 В. Отримані результати дозволили визначити наступні електричні параметри: порогова напруга 0,4-0,5 В; допороговий розкид 110-120 мВ/декаду; струм для відкритого та закритого каналу відповідно становив 10^{-4} - 10^{-5} А та 10^{-10} - 10^{-12} А, їх відношення 10^5 - 10^7 (коефіцієнт підсилення); зниження бар'єру, індуковане стоком 800-850 мВ/В. В рамках моделі Шоклі [1] при напрузі зміщення 0,60 В рухливість носіїв становила близько $80\text{см}^2/\text{Вс}$. Отримані результати добре узгоджуються з відомими даними для польових транзисторів із каналом MoS_2 [1].

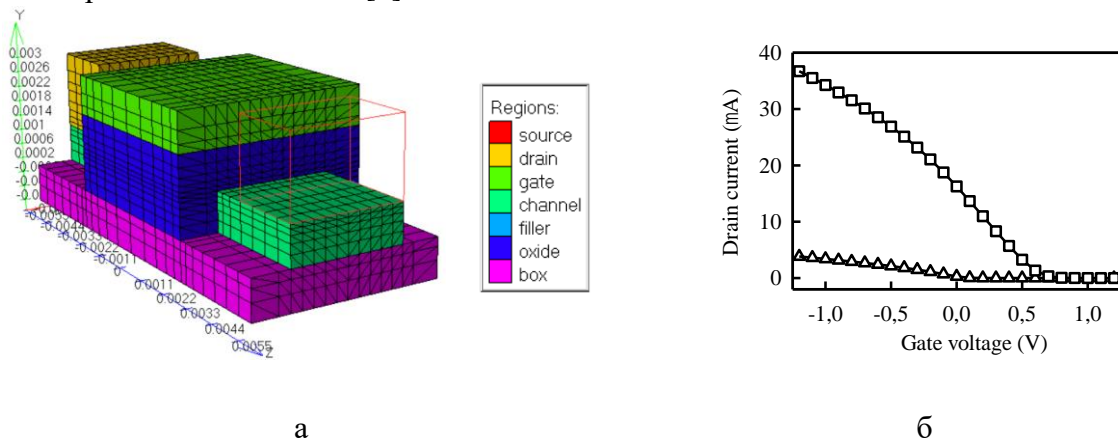


Рис.1. Геометрична модель (а) та передавальні ВАХ (б) для польового транзистора із каналом у вигляді MoS_2 . Високий та низький рівні напруги на електродах витіку та стоку відповідно $V_{dsH}=0,60$ В (квадрати) та $V_{dsL}=0,03$ В (трикутники)

Польові транзистори із каналом у вигляді 2D матеріалів демонструють набагато меншу величину допорогового розкиду, що важливо для масштабування транзисторів. Це важко досягти в кремнієвих структурах, навіть якщо використовуються передові конструкції FinFET, VGAA та інші [1].

[1] Y. Liu, X. Duan, H.J. Shin et al., Nature 591, 43 (2021).

[2] I.P. Buryk, I.M. Martynenko, L.V.Odnodvoretz et al., J. Nano- Electron. Phys. 14, 01024 (2022).

[3] I.P. Buryk, A.O. Holovnia, I.M. Martynenko, O.P.Tkach, J. Nano- Electron. Phys. 13, 04030 (2021).

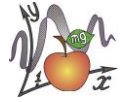


СЕКЦІЯ Н

МОДЕЛЮВАННЯ ЯВИЩ ТА ПРОЦЕСІВ

SECTION N

MODELING OF PHENOMENA AND PROCESSES



ВИЯВЛЕННЯ ТОЧОК БІФУРКАЦІЙ У ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМАХ З ХАОСОМ

Олег Сідор, Іван Хвищун

Львівський національний університет імені Івана Франка, факультет електроніки та комп'ютерних технологій, м. Львів вул. Драгоманова, 50,
oldneer.dev@gmail.com, xiocompan@gmail.com

Теорія хаосу – розділ математики, який вивчає поведінку детермінованих динамічних систем, розв'язки яких мають досить складну структуру і тому здається, що в часі вони поводяться випадково. Детермінована система – система рівнянь руху, параметри та початкові умови якої відомі і не є випадковими [1].

У процесі математичного моделювання різних динамічних систем, можна спостерігати зміну поведінки відповідної системи і, в залежності від параметрів і початкових умов, появу в ній точок біфуркацій, та зміну її стандартної поведінку на хаотичну [2].

Точка біфуркації – це момент зміни якісної поведінки динамічної системи, у якій малі зміни параметрів системи приводять до появи хаотичного режиму.

Для дослідження точок біфуркацій у динамічних системах з хаосом, мовою C# було написано програмний проект, у якому, неявним методом Шичмена [3, 4], розв'язувались математичні моделі цих систем, з метою знаходження точок біфуркацій. Для візуалізації результатів досліджень у вигляді графіків, використано бібліотеку OxyPlot.

Дана програмна система є відкритою до її модернізації, тому вона може стати основою для створення потужного середовища для вивчення хаотичних процесів у системах із різних галузей науки.

У доповіді подано результати досліджень, які показали шляхи та методи ідентифікації конкретних значень параметрів системи, при яких відбувається зміна у її поведінці на хаотичну.

[1] Francis C. Moon. Chaotic Vibrations. An Introduction for Applied Scientists and Engineers. A John Wiley & Sons, Inc., Publication. 2004, p. 310.

[2] Ruelle David. Hasard et Haos. Princeton University Press, (1991), p. 247.

[3] І.О. Хвищун. Програмування і математичне моделювання, Київ, (2007), с. 544.

[4] Shichman H. Integration System of a Nonlinear Network-Analysis Program // IEEE Trans. on CT. – 1970. – 378 – 386 p.



ВИЗНАЧЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНИХ СХЕМ ЗАМІЩЕННЯ РІДИН НА ОСНОВІ БЕЗКОНТАКТНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІМПЕДАНСНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ

Ярослав Берко, Андрій Лучечко

Кафедра сенсорної та напівпровідникової електроніки
Львівського національного університету імені Івана Франка,
м. Львів, вул. Тарнавського, 107, Львів, 79017, Україна
yaruslav.berko@lnu.edu.ua

Імпедансна спектроскопія (ІС) широко використовується для характеристики електричних властивостей речовин [1]. Для безпосередніх вимірювань, у більшості опублікованих досліджень, застосовується прямий омичний контакт між електродами та речовиною. Цей метод підвищує рівень отриманого сигналу, проте є не надійним з точки зору довготривалого використання, адже електроди можуть окислятися та руйнуватися, забруднюючи досліджувані зразки. Альтернативним методом є безконтактне вимірювання, при якому електроди відокремлені від зразка діелектриком [2]. Однак, цей метод має деякі недоліки, зокрема ускладнення еквівалентної схеми заміщення (ЕСЗ) та обмеження рівня сигналу смістю утвореною між електродом й дослідною речовиною.

У даній роботі основну увагу приділено пошуку оптимальних ЕСЗ та розділення характеристик досліджуваних речовин і контейнера для вимірювання. Проведено вимірювання імпедансу для етанолу, дистильованої води та їхньої суміші в скляному контейнері з електродами на протилежних стінках. При стабільному об'ємі досліджуваної рідини та параметрах навколишнього середовища, частотні характеристики контейнера вважалися незмінними, що дозволило виключити їхній вплив при аналізі даних для розділення параметрів рідин та контейнера. Пошук оптимальних ЕСЗ виконувався за допомогою методу реалізованого на основі генетичних алгоритмів. Структура ЕСЗ задавалася як вхідний параметр пошуку і складалася з декількох послідовних елементів Фогта. Такий вибір був зумовлений оптимізацією швидкодії запропонованого алгоритму.

Отримано набір ЕСЗ, що відповідали вимірним даним з точністю до 1%. При цьому, результуючі ЕСЗ включали частину, яка була однаковою для всіх вимірювань і характеризувала контейнер. Іншим важливим результатом була можливість використання отриманих ЕСЗ для моделювання відгуку досліджуваної системи на П-подібне збудження, що відкриває перспективи прогнозування реакції системи на основі даних імпедансної спектроскопії.

[1] G. Hsieh, D.D. Edwards, S.J. Ford, J.H. Hwang, J. Shane, E.J. Garboczi, & T.O. Mason, MRS Online Proceedings Library (OPL), **411**, 3 (1995).

[2] P. Kubáň, P. C. Hauser, TrAC Trends in Analytical Chemistry, **102**, 311 (2018).



МОДЕЛЮВАННЯ ПОШУКУ ЦІЛЮВИХ ГРУП КОРИСТУВАЧІВ У СОЦІАЛЬНИХ МЕРЕЖ

**І.С. Перекрестов, А.М. Чмелевський, В.М. Молочков, Д.О. Калиненко,
В.С. Ситніков**

Національний університет "Одеська політехніка
Україна, м. Одеса, 65044, пр. Шевченка, 1, sitnikov@op.edu.ua

Однією з завдань соціальних мереж є процедура рекомендації друзів. Ця процедура має високий пріоритет, оскільки втілення її дозволяє привернути та утримати значну кількість нових користувачів.

Рекомендаційні системи базуються, так і моделюються, на основі когнітивних наук, теорії наближень та пошуку інформації, тощо. Так вже з середини 1990-х років ця галузь почала активно розвиватися через зростаючу важливість рекомендацій, а активність в соціальних мережах відкриває нові можливості для подальшого підвищення точності рекомендаційних систем, надання користувачам нових способів спілкування та будування віртуальних спільнот.

Так моделювання та тестування методів пошуку на двох датасетах – випадковому та спеціально підбраному, показали, що алгоритм DBSCAN має досить непогані шанси для застосування його на реальних задачах рекомендації користувачів у соціальних мережах. Слід відмітити, що швидкість роботи цього методу – в ідеальному випадку може значно перевищувати Affinity Propagation. На тестовій конфігурації, на комп'ютері з 8 Гб оперативної пам'яті та 2,5 ГГц процесором Intel Core i5, метод здатний об'єднати 23 000 точок даних на основі всіх попарних подібностей (23000x23000) за кілька годин. Оскільки для реальної задачі така кількість буде занадто великою та не потрібною, то можна сказати, що метод має досить велику швидкість. Успішне використання алгоритму DBSCAN у задачах створення рекомендаційних систем дає перевагу над методом Affinity Propagation, якщо не використовувати його брутфорс-реалізацію.

Використання коефіцієнту кореляції Пірсона забезпечує більшу точність рекомендацій, порівняно з обробкою даних звичайними методами. Для багатьох соціальних мереж, саме цей фактор є головним для залучення та утримання нових користувачів.

В ході моделювання кращим варіантом обрання тестових даних були датасети Social circles: Facebook із сайту стенфордського університету snap.stanford.edu. Цей набір даних складається з соціальних кіл та списків друзів з Facebook. Дані були анонімізовані, замінивши внутрішні ідентифікатори Facebook, підставивши ідентифікатори для кожного користувача з новим значенням. Таким чином, за допомогою цього датасету можна визначити окремо взятого користувача, та деякі його інтереси.

Запропонований підхід не враховує дані, що містяться про конкретно взятого користувача, поза мережею, отже він розрахований тільки для моделювання та розробки рекомендаційної системи всередині соціальної мережі.



MEASUREMENT OF THE SEPARATION FORCE OF THE DISC FROM THE LIQUID IN DISTANCE LEARNING CONDITIONS

Hladyshko Anastasiia

Kryvyi Rih State Pedagogical University, Gagarin Avenue, 54,
admissions@kdpu.edu.ua адреса

The Young equation relates the contact angle θ and the surface tension coefficients σ at the interfaces of media. From this equation, it follows that the macroscopic parameter θ does not depend on the properties of molecules, and the concept of the force field between molecules is considered only along their interface lines. Therefore, students mistakenly conclude that intermolecular forces act only along the interface lines of media. Thus, conducting research on the aforementioned topic addresses this issue.

Students can explore the role of volume and surface forces in the interaction between a liquid and a solid at home by conducting a series of convincing experiments: measuring the force required to detach the surface of a flat body from the liquid, using hanging drops, and with a looped thread placed on a soap film. The simplicity of setting up the experiments and the availability of materials allow students to investigate phenomena at the interface of two media not only in laboratory conditions but also remotely.

Using a series of experiments, the phenomenon of surface tension is examined, the nature of which is explained by intermolecular forces of attraction. The force required to detach a disk from the surface of water is not proportional to the perimeter of the disk. This proves the fact that surface tension of the liquid, as a particular tangential force, is not manifested in this experiment. The force required to detach the disk from the liquid is directly proportional to the area of the disk:

$$F \propto \beta S \quad (1)$$

The critical value of the cohesion strength between the molecules of the liquid equals $\beta = 40 \text{ N/m}^2$. The constancy of the detachment force of the same disk when increasing the number of holes drilled into it and the dependence of the detachment force solely on the surface area of the intact disk prove the fact that all molecules in the contact layer of the disk and the liquid are involved in holding the disk.

In the future, a self-propelled system will be developed that utilizes surface tension forces to move against gravity. This will enable students to experimentally compare these forces and use the system to determine the viscosity of air, the mean free path of molecules, and calculate their diameter.

- [1] Bikerman, J. J. (1958). Surface Chemistry. New York. Academic Press
- [2] Jonson, R. E., & Dettre, R. H. (1969). Surface and Colloid Science: Ed. by E. Matievic. New York, 2
- [3] Zdeshchyts, V.M., Zdeshchyts, A.V., & Prikhozha, Yu.O. (2020). Vykorystannia tekhnolohii BYOD pid chas vykonannia laboratornykh robit z fizyky [Use of BYOD technology during frontal laboratory work in physics]. Fyzyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education, 3(25), 2, 43-49.



МОДЕЛЮВАННЯ РІВНЯННЯ СТАНУ ДВОВИМІРНОЇ СИСТЕМИ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЇ ДИНАМІКИ

Владислав Лапко

Фізичний факультет Львівського національного університету імені Івана Франка, вулиця Кирила і Мефодія, 8, Львів, 79005, Україна,
vladyslav.lapko@lnu.edu.ua

Останні досягнення в комп'ютерних технологіях вивели молекулярну динаміку (МД) в центр уваги наукових досліджень. Це зростання популярності відкриває безпрецедентні можливості для поглибленого вивчення молекулярних і атомних процесів, які до цього часу були малодоступні без аналітичних інструментів, що надаються методами молекулярної динаміки [1, 2].

У цьому дослідженні розглядається двовимірна система частинок, які взаємодіють через потенціал Леннарда-Джонса [3]. Зокрема, основну увагу приділено вивченню фазових переходів і фазової діаграми в цій моделі, з особливим акцентом на з'ясуванні гексатичної фази — окремого стану речовини, проміжного між твердою та ізотропною рідкою фазами у двовимірних системах частинок [4].

Для вивчення необхідної моделі було створено просте програмне забезпечення. Рівняння руху були інтегровані за допомогою методу Верле, який має багато корисних властивостей. Під час розрахунків використано періодичні граничні умови. Визначення фази системи здійснюється шляхом аналізу функції радіального розподілу (див. рис. 1), яка містить інформацію про структуру системи.

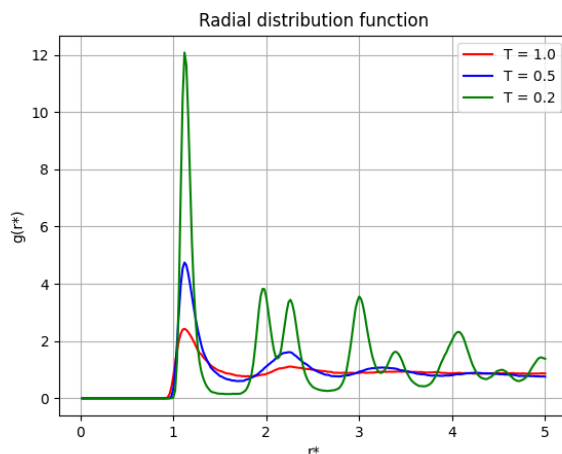


Рисунок 1: Функція радіального розподілу для різних температур (використано зведені одиниці).

- [1] D. Rapaport, *The Art of Molecular Dynamics Simulation*. Cambridge University Press (2004).
- [2] D. Frenkel and B. Smit, *Understanding Molecular Simulation: From Algorithms to Applications*. 2nd ed. Elsevier (2002).
- [3] J. M. Phillips, L. W. Bruch, and R. D. Murphy, *J. Chem. Phys.* **75**, 5097 (1981).
- [4] Y. W. Li and M. Pica Ciamarra, *Phys. Rev. E*, **102**, 062101 (2020).



STUDY OF BIFURCATIONS INFLUENCE ON DYNAMICS OF TRAFFIC FLOWS WITHIN COMPLEX LORENZ MODEL

Oleksii Khomenko^{1,2}, Oleksiy Shikura¹, Kateryna Khomenko¹

¹Sumy State University, 116, Kharkivska st., Sumy, 40007, Ukraine

²Peter Grünberg Institut-1, Forschungszentrum-Jülich, Jülich, D-52425, Germany o.khomenko@mss.sumdu.edu.ua, aleksejsikura@gmail.com

Traffic flows are complex dynamic systems that are not always intuitively understood. Their behavior can be chaotic and unstable, and it is quite difficult to predict with high accuracy. In this work, we investigate the dynamics of traffic flows and phase transitions using the complex Lorenz model. This model, which is used to describe a variety of phenomena from laser systems to chemical reactions [1], has three variables and can exhibit a wide range of behaviors, including chaos [2].

An important factor affecting the dynamics of traffic flows is the control parameter. It determines the strength of the nonlinearity in the system. At low values, the system behaves stably, and at high values, it behaves chaotically, exhibiting the formation of traffic jams and other unstable states. Traffic jams are stable states of the system in which traffic flows are blocked or significantly slowed down. To study the influence of the control parameter on the behavior of traffic flows, we use analytical and numerical methods. Analytical methods allow us to obtain general ideas about the behavior of the system [3,4], while numerical methods allow us to study it in detail, with a given accuracy and taking into account the influence of various external factors.

Our results have showed that increasing the control parameter can lead to the formation of traffic jams. For a more detailed study of the behavior of the system, as an example of one of the above-mentioned methods, Fourier analysis can be used. This method allows us to decompose a signal into its constituent frequencies, which can help to identify hidden patterns in the dynamics of traffic flows.

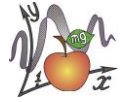
The Lorenz model is just one of the possible tools for studying the dynamics of traffic flows. Its advantages are simplicity and universality, and its disadvantage is limited accuracy in describing complex systems due to the difficulty of determining specific experimental values of the parameters it contains.

[1] E.N. Lorenz, Deterministic nonperiodic flow, *Journal of Atmospheric Science*, **20**, 130 (1963).

[2] S. Moon, J.-J. Baik, J.M. Seo, Chaos synchronization in generalized Lorenz systems and an application to image encryption, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, **96**, 105708 (2021).

[3] A.D. Kiselev, Symmetry breaking and bifurcations in complex Lorenz model, *Journal of Physical Studies*, **2**(1), 30 (1998).

[4] A. Khomenko, A. Shikura, Nonlinear kinetics of transition between transport flow modes, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, **557**, 124965 (2020).



КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГАЗУ ТВЕРДИХ СФЕР З УРАХУВАННЯМ КВАНТОВОГО ТУНЕЛЬНОГО ЕФЕКТУ

Софія Приходько, Орест Григорчак

Львівський національний університет імені Івана Франка, вул.
Драгоманова, буд.12, м. Львів, 79005, Україна, email: sofprh42@gmail.com

Моделювання фізичних процесів має важливе значення в контексті вивчення багаточастинкових систем, для яких отримати точний аналітичний опис є складною, а часто й неможливою задачею. Крім того, таке моделювання має ще й вагому педагогічну цінність, оскільки дає можливість прослідкувати отримання статистичних характеристик складних систем, виходячи з перших принципів. В цьому контексті особливе зацікавлення становлять багаточастинкові системи, які враховують квантові ефекти, а в границі відтворюють добре відомі класичні результати.

Наше дослідження полягало в моделюванні поведінки газу твердих сфер, який знаходиться в посудині при заданій температурі та концентрації. Окрім взаємодії частинок газу між собою та зі стінками посудини було феноменологічно враховано коефіцієнт взаємного тунелювання між частинками. В результаті для різних значень згаданого коефіцієнта вдалося дослідити динаміку поведінки газу твердих сфер при його прямуванні до рівноважного стану, а також провести часовий аналіз розподілу частинок за швидкостями та залежності їх концентрації від висоти в гравітаційному полі. Крім цього була отримана залежність ентропії системи від часу та наближений взаємозв'язок між температурою, тиском та об'ємом такої системи.

Комп'ютерне моделювання було здійснене з використанням мови програмування Python та бібліотек SymPy, Scipy, NumPy. Для візуалізації поведінки газу було застосовано бібліотеку Matplotlib, а інтерфейс взаємодії з користувачем реалізований на основі wxPython.



МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА

Рябчук Каріна, Вадим Даценко

Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ»,
м. Харків, вул. Чкалова, 17, karina.ryabchuk13@gmail.com

За життєвий цикл двигун працює не тільки на розрахунковому режимі, але й на нерозрахункових. Ці режими мають певний вплив на його роботу. Тому без включень цих режимів не можливо спрогнозувати наскільки спроектований двигун є надійним та економічним і чи зможе відпрацювати гарантований термін. До необхідних експлуатаційних характеристик, які обов'язково досліджують при проектуванні, відносяться дросельна та кліматична характеристики. Дросельна характеристика більше необхідна для двигунів працюючих на різних режимах. В наземних умовах це привідні двигуни газоперекачувальних агрегатів, так як необхідна потужність може змінюватися зі зміною часу.

В представленій роботі побудована математична модель турбовального газотурбінного двигуна, призначеного для приводу газоперекачуючого агрегату. Дана модель спирається на метод розрахунку термогазодинамічних параметрів ГТД, та має 1-й рівень деталізації, відповідно до класифікації математичних моделей [1]. Результати розрахунку дросельної характеристики за допомогою математичної моделі представлені на рис. 1.

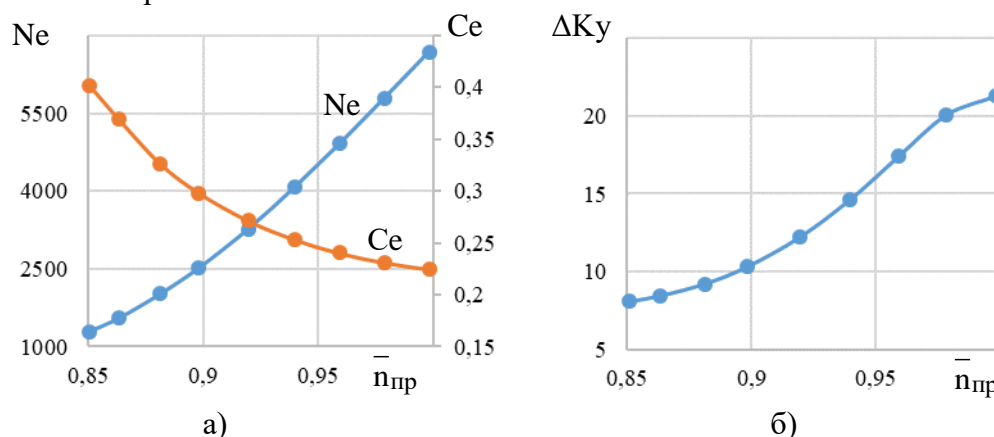


Рис. 1 – Моделювання дросельної характеристики: а – залежність потужності та питомої витрати палива від відносної частоти обертання ротора високого тиску; б – залежність запасів газодинамічної стійкості ΔK_u від відносної частоти обертання ротора високого тиску

В результаті розрахунку встановлено, що досліджуваний двигун працює на стійких режимах роботи (запас газодинамічної стійкості компресора низького тиску $>8\%$) в діапазоні відносних частот обертання ротора високого тиску: 0,845...1,000. Також встановлено, що при зменшенні відносної частоти обертання з 1,0 до 0,845, питома потужність зменшується на 67%, питома витрата палива зростає на 51,9 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Тунаков, А. П. Методы оптимизации при доводке и проектировании газотурбинных двигателей / А. П. Тунаков. – М.: Машиностроение, 1979. – 184 с.



ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ В УМОВАХ ЗМІННОГО ОСВІТЛЕННЯ

Дмитро Феденко

кафедра бухгалтерського обліку та консалтингу,
Київський національний економічний університет ім. В. Гетьмана
feddima99@gmail.com

У сучасному світі проблеми сталого розвитку та енергоефективності виходять на перший план. Застосування відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних батарей, визначається як ключовий елемент стратегії зменшення викидів вуглецю та забезпечення енергетичної стійкості. Проте, ефективність сонячних батарей значною мірою залежить від умов освітлення, що може зазнавати значних змін.

Одним із підходів для вирішення цього питання є використання комп'ютерного моделювання. Моделі дозволяють враховувати велику кількість факторів, які впливають на ефективність сонячних батарей у змінних умовах освітлення. Вони дозволяють аналізувати та оптимізувати параметри батарей, такі як розмір, конструкція та матеріали, з метою максимізації отриманої енергії.

Почнемо з часових змін інтенсивності сонячного випромінювання. Сонячне випромінювання змінюється впродовж дня та року в залежності від сонячного циклу та географічного розташування. Комп'ютерне моделювання дозволяє враховувати ці зміни і створювати точні прогнози щодо того, як зміна інтенсивності впливає на генерацію електроенергії сонячними батареями в різні періоди.

Далі, щодо погодних умов, моделі можуть враховувати вплив хмарності, опадів, температури тощо. Наприклад, висока температура може впливати на роботу сонячних батарей, зменшуючи їхню ефективність.

Інтеграція часових та погодних параметрів у комп'ютерні моделі дозволяє вченим та інженерам здійснювати прогнози та оптимізувати конструкцію та параметри сонячних батарей. Це сприяє покращенню їхньої продуктивності та дозволяє розробляти більш ефективні технології для використання сонячної енергії в умовах різноманітних кліматичних умов. Такий підхід важливий для створення стійких та надійних сонячних енергетичних систем, які можуть працювати ефективно в будь-яких умовах освітлення.

Застосування комп'ютерного моделювання для аналізу та оптимізації ефективності сонячних батарей у змінних умовах освітлення може сприяти подальшому вдосконаленню технологій відновлюваної енергії та сприяти їхньому більш широкому впровадженню в сучасному суспільстві.

- [1] Sozen A., Arcaklioglu E., Ozalp M., Kanit E.G. Use of Artificial neural network for mapping of solar potential in Turkey. *Applied Energy*, 2004, Vol. 77, No. 3, pp. 273–286.
- [2] Ahmed M., Ahmad F., Wasim M. Estimation of global and diffuse solar radiation for Hyderabad, Sindh, Pakistan, *Journal of Basic and Applied Sciences*, 2009, Vol. 5, No. 2, pp. 73-77).



MODELING THE THERMOLUMINESCENCE OF CsPbBr₃ CRYSTALS

Volodymyr Turta, Ivan Pryshko, Oleksandr Halyatkin, Taras Demkiv
Ivan Franko National University of Lviv, 8, Kyrylo & Mephodiy Street, Lviv,
79005, Ukraine, e-mail: VOLODYMYR.TURTA@lnu.edu.ua

Lead halide perovskites are a highly promising group of luminescent materials due to their narrow band gap, fast sub-nanosecond exciton luminescence, and high photoluminescence quantum yield. However, their emission is significant only at cryogenic temperatures, attributed to thermal quenching of the exciton luminescence and small Stokes shift [1]. There are several approaches to overcome these challenges at room temperature [2]. Examples include the use of nanomaterials, doping of bulk crystals with activator ions, or formation of self-trapped excitons in compounds of smaller dimensions.

These materials possess promising properties for use in light-emitting and detecting diodes, as an active medium in lasers, as a photosensitive element for solar cells, and so forth. Such a wide range of applications is facilitated by a set of corresponding properties and the ability to control them over a wide range of values. For instance, the exciton luminescence of entirely inorganic halide perovskites CsPbX₃, where X = I, Cl, Br [3], or their mixtures, covers the entire visible spectrum. The electrical properties of perovskites depend on the synthesis methodology of the crystals, which determines the perfection of the obtained samples, their structure, and the number of defects in them. Therefore, for effective use of the advantages of these materials and minimization of the degradation impact on their properties, a deep understanding of their structure and the nature of their inherent defects is necessary.

It is known that the thermoluminescence of CsPbBr₃ depending on the initial materials can have different appearances and significant numbers of non-elementary peaks, complicating their interpretation. In this work, the thermoluminescence of CsPbBr₃ crystals was measured and modelled. To analyze the experimental data and provide a more detailed interpretation of the thermoluminescence spectra, first (Randall-Wilkins model) and second (Garlick-Gibson model) order kinetics models were used and implemented in Python. For CsPbBr₃ crystals, the trap energies of trap energy levels were obtained, which are within the range of 0.3-0.7 eV deeper than the conduction band, and their relative concentrations. The results correlate with the X-ray-induced luminescence spectra. The results are correlated with X-ray luminescence spectra. In particular, the structureless band in the long-wavelength region may be due to the presence of impurities.

This work was carried out as part of the project «Fast scintillators with high light yield based on halide perovskite crystals and nanoparticles». This project has received funding through the EURIZON project, which is funded by the European Union under grant agreement No.871072.

- [1] R. T. Williams, W. W. Wolszczak, X. Yan, D. L. Carrol, ACS Nano 14 5161 (2020). doi: 10.1021/acsnano.0c02.
- [2] W. W. Wolszczak, D. L. Carrroll, R. T. Williams, Advanced X-ray Detector Technologies, Chapter 1 (2022). doi: 10.1007/978-3-030-64279-2_1.
- [3] M. V.Kovalenko, M.I. Bodnarchuk, J. Chem. 71, 461 (2017). doi:10.2533/chimia.2017.461.

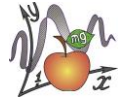


СЕКЦІЯ I

СИСТЕМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

SECTION I

ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEMS



ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ОПІТИМІЗАТОРА ДЛЯ НЕЙРОМЕРЕЖІ ПРИ РОЗРОБЦІ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО ТЕГУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Андріан Козинець

Львівський національний університет імені Івана Франка, факультет електроніки та комп'ютерних технологій
м.Львів, вул.Драгоманова, 50, 79005, Львів Україна
mr.aleryp@gmail.com

Вибір оптимізатора під час навчання згорткової нейронної мережі є надзвичайно важливим етапом, який безпосередньо впливає на час навчання, точність отриманої моделі та різницю між реальними результатами та отриманими. В статті [1] розглянуто причину, чому стохастичний градієнтний спуск (SGD) погано працює з проблемою блочної неоднорідності та чому адаптивна оцінка моменту (Adam) показує кращі результати в цій ситуації. У [2] розглянуто гібридне використання цих двох оптимізаторів, що призводить до отримання кращих результатів навчання.

На прикладі п'яти шарової нейронної мережі, три з яких - згорткові шари з ядром 3x3, було проведено дослідження двох оптимізаторів: стохастичного градієнтного спуску та адаптивної оцінки моменту під час навчання на 550 тисячах зображень з однією тисячею класів. Темп навчання у всіх випадках був однаковим та дорівнював $1e-4$. Для отримання результатів використовувався інструмент TensorBoard. У таблиці представлено результати тренування від однієї до десяти епох навчання для двох оптимізаторів. З наведеної таблиці видно, що для згорткової нейронної мережі з однаковою архітектурою і великою кількістю класів стохастичний градієнтний спуск показав кращі результати, ніж адаптивна оцінка моменту, оскільки всі зображення в обраній збірці одного розміру та в даному випадку блочна неоднорідність не виражена.

	1 Епоха	2 Епоха	5 Епоха	10 Епоха
SGD (Точність)	0.025	0.089	0.198	0.266
SGD (Втрати)	6.137	5.021	4.068	3.59
SGD (Точність валідації)	0.057	0.124	0.206	0.25
SGD (Втрати валідації)	5.433	4.666	4.041	3.752
Adam (Точність)	0.021	0.058	0.113	0.16
Adam (Втрати)	6.268	5.397	4.729	4.316
Adam (Точність валідації)	0.041	0.068	0.112	0.161
Adam (Втрати валідації)	5.685	5.227	4.732	4.339

З отриманих результатів, а також зі згенерованих за допомогою TensorBoard графіків залежності точності і втрат від кількості епох навчання, визначено, тип оптимізатора, який краще виконує свої функції для згорткової нейронної мережі, яка навчається на великих кількостях зображень одного розміру та категорій визначення.

[1] Y.Zhang,C.Chen, T.Ding, Z.Li, R.Sun, Z.Luo, arXiv:2402.16788 (2024)

[2] N. Landro, I.Gallo, R.L.Grassa, arXiv:2011.08042 (2020).



ІНТЕГРАЦІЯ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ В DATA MESH СТРУКТУРУ

Маркіян Фостяк

Львівський національний університет імені Івана Франка,
факультет електроніки та комп'ютерних технологій
м.Львів, вул.Драгоманова, 50, 79005, Львів Україна
markiyan.fostyak@gmail.com

Data Mesh - це концепція організації даних, в якій кожен домен або бізнес-задача має свій власний набір даних та власну команду, що відповідає за ці дані [1]. В роботі запропоновано використати концепцію Data Mesh для вирішення задачі кредитного рейтингу на основі ML домену. ML алгоритми відслідковують кредитні дані клієнта та розраховують оптимальний рівень ризику та дохідності для покращення точності та ефективності оцінки кредитного ризику [2,3].

Схема Data Mesh структури на вході містить три домени, які отримують відповідні операційні дані. На основі отриманих даних кожна доменна команда розробників будує дата продукти для аналізу. Ці дата продукти об'єднуються в один комплексний домен агрегат, як централізоване місце для доступу до різноманітних даних. За допомогою комплексного агрегату можна створювати складні звіти та аналізи, які враховують інформацію з різних аспектів бізнесу компанії і формують дата продукт для різних структур: керівництва, відділу маркетингу, служби підтримки, моделей класифікації.

Для навчання моделей сформовано дані на основі моделі даних Open Banking API. Модель даних для транзакцій містить інформацію про фінансові операції, такі як перекази, оплати, зняття готівки та інші. Дані були опрацьовані, стандартизовані, категоризовані, а також розбиті на 3 блоки: витрати, ризиковані витрати та надходження. Результати дослідницького аналізу даних показали можливість використання даних для побудови ML моделей.

Для вирішення задачі кредитного рейтингу в ML домені розглянуто різні види класифікаторів, отримано параметри класифікації та визначено колонки даних, які найбільше впливають на точність класифікації. Створено колонку даних, яка дорівнює різниці надходжень та видатків. Показано, що наявність цієї колонки даних збільшує точність класифікації в середньому на 5 відсотків. Найкращі параметри класифікації отримано для моделі класифікатора Random forest.

Важливість колонок досліджено шляхом аналізу матриці кореляції та feature extraction. Показано, що для отримання раціонального пояснення результатів важливо розділити дані на 2 частини відносно медіани колонки різниці надходжень і видатків. Проаналізовано і встановлено патерни залежностей ймовірності отримання і повернення кредиту від вхідних даних.

Проведені дослідження є важливими для автоматичного розрахунку кредитного рейтингу та визначення оптимальних умов кредитування для кожного клієнта.

[1] A.Goedegebuure, I.Kumara at all, arXiv:2304.01062 (2023)

[2] A.R.Khalid,N.Owoh, O.Uthmani at all, Big Data Cogn. Comput., 8(1) (2024).

[3] L.O.Hjelkrem, P.Lange, E.Nesset, Journal of Risk and Financial Management 15(12):597 (2022).



ЕТИЧНІ АСПЕКТИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Олена Крикля

НУ «ОП», м. Одеса, пр-т Шевченка 1, 65044, kaf.it@op.edu.ua

Штучний інтелект (ШІ) є однією з найбільш динамічно розвиваючихся галузей технології, яка проникає у всі сфери нашого життя.

Штучний інтелект викликає ряд етичних питань, включаючи приватність даних, біас в алгоритмах, вплив на ринок праці та розміщення відповідальності [1]. Суспільство повинно активно обговорювати ці питання та розробляти відповідні етичні стандарти та регуляції. Етичні аспекти штучного інтелекту (ШІ) представляють значущу та актуальну проблему, оскільки вплив цих технологій на суспільство, приватність, безпеку та між особисті відносини потребує ретельного обговорення та регулювання [2]. Нижче представлено деякі ключові етичні питання, пов'язані із застосуванням штучного інтелекту:

1. Приватність даних: Збір, зберігання та обробка великих обсягів особистої інформації за допомогою систем ШІ може ставити під загрозу приватність та конфіденційність користувачів. Етичні стандарти повинні гарантувати право людини на захист своїх персональних даних та контроль над ними.

2. Прозорість та відповідальність: При роботі систем ШІ важливо, щоб їхні рішення були прозорими та пояснювалися. Поодинокі особи та організації повинні бути відповідальні за наслідки використання штучного інтелекту [4].

3. Біас та дискримінація: Алгоритми штучного інтелекту можуть бути викладені до біасу, якщо використовуються неправильні набори даних або недостатньо репрезентативні. Це може призводити до несправедливих рішень та дискримінації.

4. Вплив на ринок праці: Впровадження систем ШІ може призвести до автоматизації та заміни людей на робочих місцях. Це може вимагати переосвіти та розвитку нових навичок у працівників, щоб вони могли конкурувати на ринку праці [5].

5. Безпека та військове використання: Використання штучного інтелекту відкриває нові можливості в області кібербезпеки, але також породжує загрози військового використання та кібератак.

6. Моральні дилеми: Штучний інтелект може стати причиною моральних дилем, наприклад, у випадках автономних транспортних засобів, де виникають питання про те, які рішення повинні приймати машини в екстремальних ситуаціях [3].

[1] "Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy" автора Cathy O'Neil, с. 389.

[2] "Artificial Unintelligence: How Computers Misunderstand the World" автора Meredith Broussard, с.721.

[3] "The Ethical Algorithm: The Science of Socially Aware Algorithm Design" авторів Michael Kearns та Aaron Roth, с.422.

[4] "Robot Ethics 2.0: From Autonomous Cars to Artificial Intelligence" редактора Patrick Lin, Keith Abney, Ryan Jenkins, с.143.

[5] "Algorithms of Oppression: How Search Engines Reinforce Racism" автора Safiya Umoja Noble, с.541.



ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ У ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗМІЩЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ

Нестеренко Андрій

Національний університет «Одеська політехніка», проспект Шевченка, 1,
Одеса, Одеська область, mail@op.edu.ua

Останнім часом виникла збільшена потреба в електроенергії, що призвело до того, що проєктувальники систем електропостачання міст стикаються з великою кількістю вхідної інформації [1]. Обробка та аналіз великих обсягів інформації та висока динаміка їх параметрів вимагають розробки нових методів розташування об'єктів електропостачання [2]. Ефективність систем виробництва, передачі та розподілу електроенергії значною мірою визначається конструкторськими рішеннями, які були використані при формуванні електричних мереж і систем [2].

Під час проєктування міських електричних мереж виникає завдання вибору раціональної конфігурації системи електропостачання. Термін "конфігурація системи електропостачання" означає конкретне взаємне розташування елементів системи електропостачання (кабельних, повітряних ліній, трансформаторних та силових підстанцій і т. п.), взаємозв'язок елементів у системі електропостачання, а також з'єднання елементів у форми певної структури [2]. Завдання вибору місця фактичного розміщення об'єктів електропостачання включає сотні альтернативних рішень, і планувальники повинні знайти оптимальне рішення.

У зв'язку із складністю завдання вибору раціональної конфігурації електромережі, яке включає розміщення декількох джерел живлення різних та однакових типорозмірів і одночасне закріплення за ними споживачів, це завдання залишається актуальним на етапі проєктування [3].

Існуючі моделі та алгоритми для вирішення цього завдання використовують апарат дискретного програмування, що включає повний або частковий перебір [3], що сповільнює процес пошуку оптимального результату. Альтернативою є використання евристичних алгоритмів, які характеризуються високою ефективністю і забезпечують виявлення оптимального рішення за прийнятну кількість кроків, хоча точність розрахунків при цьому зменшується.

Для подолання цієї проблеми було розроблено модифікований генетичний метод розміщення джерел живлення однакових типорозмірів та одночасне закріплення за ними споживачів для підвищення точності і підтримки швидкості розрахунків. Відмінність цього методу від існуючих аналогів полягає у використанні модифікованого оператора селекції, який обирає хромосоми з популяції з урахуванням передбачення якості потомства, що можуть виходити від обраних хромосом.

Було розроблено генетичний метод для вирішення завдання оптимального розміщення джерел живлення різних типорозмірів та одночасне закріплення за ними споживачів. Головна відмінність цього генетичного методу полягає у використанні модифікованого оператора кросовера, де після визначення точки розриву відбувається перерозподіл генів. Запропоновані методи ефективно вирішують проблему низького успадкування, топологічної непрактичності знайдених рішень, що призводить до суттєвого скорочення часу виконання та підвищення точності розрахунків. Отримані результати дозволяють пропонувати ефективні методи для підвищення якості



прийнятих рішень щодо вибору місця розташування об'єктів електропостачання при проектуванні міських електричних мереж.

- [1] Д.К. Маккарті, О.М. Делл, Т.М. Фелдер, "Операційні системи: принципи та практика", Пітер (2015), 1200 с.
- [2] І.П. Іванов, Т.С. Сидоров, "Електроніка: теорія і практика", Київ (2014), 450 с.
- [3] Р. Столлман, "Вільне програмне забезпечення, вільне суспільство: Вибрані есе Річарда Столлмана", GNU Press (2002), 220 ст.
- [4] Д. Ульман, "Вступ до теорії автоматів, мов та обчислень", Addison-Wesley (1979), 428 ст.
- [5] В.С. Літвінов, Л.І. Гладких, "Комп'ютерна графіка: Підручник", Київ (2017), 360 с.
- [6] М. Кастельс, "Підйом мережевого суспільства", Blackwell Publishers (1996), 556 ст.
- [7] Д. Кнут, "Мистецтво програмування", Addison-Wesley (1968), Т. 1: Основні алгоритми, 672 ст.

OPTIMIZATION OF THE AIR POLLUTION DETECTION SYSTEM

Volodymyr Hura

Ivan Franko National University of Lviv, Faculty of Electronics and Computer Technologies, str. Drahomanova 50, m. Lviv, volodymyrgura97@gmail.com

Air pollution, a multifarious amalgam of particulate matter and noxious gases, has emerged as a critical environmental and public health concern. The exigency for robust air pollution detection systems is underscored by the escalating repercussions of anthropogenic activities on air quality. Current detection paradigms, predominantly reliant on fixed monitoring stations, are impeded by spatial resolution limitations, sensor calibration drift, and latency in data dissemination. This article delineates the scientific methodologies requisite for the optimization of air pollution detection systems, aiming to augment their spatial and temporal resolution, and thereby enhance their utility in environmental surveillance and policy formulation.

The pervasive nature of air pollution necessitates a comprehensive and high-fidelity monitoring infrastructure capable of detecting and quantifying a spectrum of atmospheric pollutants. The quintessential function of air pollution detection systems is to provide empirical data that underpins air quality assessments, regulatory compliance, and mitigation strategies. Despite the critical role these systems play, their efficacy is often compromised by inherent technical and methodological constraints. To address these limitations, a concerted scientific effort is required to refine the detection mechanisms and analytical frameworks that constitute these systems.

Sensor technology advancements are paramount to the evolution of air pollution detection systems. The development of novel, high-sensitivity sensors with enhanced selectivity for specific pollutants is crucial. These sensors must exhibit minimal cross-sensitivity to confounding environmental variables and possess long-term stability to mitigate calibration drift. The miniaturization and cost reduction of such sensors would facilitate the deployment of a more granular network, thereby increasing the spatial resolution of pollutant detection.



The integration of advanced data analytics and machine learning techniques offers a transformative potential for air quality monitoring. By applying sophisticated algorithms to process and analyze the voluminous datasets generated by monitoring networks, it is possible to discern intricate patterns and temporal trends in pollutant dispersion. Predictive models, informed by these analyses, can forecast pollution episodes with heightened accuracy, enabling preemptive interventions.

The incorporation of Internet of Things (IoT) technology into air pollution detection systems heralds a new era of interconnected monitoring. IoT-enabled devices can transmit real-time data to centralized repositories, facilitating an agile and adaptive monitoring framework. This real-time data acquisition is instrumental in the prompt identification of pollution hotspots and the rapid deployment of remedial measures.

Citizen science initiatives represent a novel paradigm in air pollution monitoring, leveraging public engagement to expand data collection efforts. By equipping citizens with portable sensing devices, a more comprehensive dataset can be amassed, supplementing the fixed monitoring stations. This participatory approach not only democratizes the monitoring process but also serves to enhance public awareness and education regarding air quality issues.

Policy and regulatory frameworks must evolve in tandem with scientific advancements to ensure the effective implementation of optimized detection systems. Regulatory bodies should establish stringent standards for sensor accuracy and data integrity, fostering an environment conducive to technological innovation. Investment in research and development, coupled with incentives for the adoption of advanced monitoring technologies, is imperative to drive the optimization process forward.

The optimization of air pollution detection systems is an endeavor of significant complexity, necessitating a multidisciplinary approach that encompasses sensor technology, data science, IoT integration, and community participation. Through scientific innovation and policy support, these systems can be refined to provide more accurate, timely, and actionable air quality data.

- [1] Smith, J.A., & Liu, H. (2022). "Advances in Low-Cost Sensor Technology for Urban Air Quality Monitoring." *Journal of Environmental Monitoring*, 24(3), 455-471.
- [2] Patel, R.K., & Gomez, M. (2021). "Machine Learning Algorithms in Predicting Urban Air Pollution: A Comparative Study." *Atmospheric Environment Research*, 35(2), 89-105.
- [3] Huang, Y., & Zhang, L. (2023). "The Role of Internet of Things (IoT) in Enhancing Real-Time Air Pollution Surveillance Systems." *Sensors and Actuators Reports*, 11(1), 34-49.
- [4] Lee, S.H., & Kim, J.Y. (2022). "Sensor Calibration Drift and Its Impact on Air Pollution Data Integrity." *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 39(4), 675-690.
- [5] Gupta, A., & Chakraborty, D. (2021). "Regulatory Policies for the Deployment of Advanced Air Quality Monitoring Systems." *International Journal of Environmental Law and Policy*, 27(3), 213-230.



APPLICATION OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR GAS RECOGNITION

Oleh Osadchuk, Igor Olenych

Ivan Franko National University of Lviv

50 Dragomanov str., Lviv, 79005, Ukraine, olegosal601@gmail.com

The current level of development of electronics and information technology makes it possible to imitate some human sensations. In particular, electronic nose technology is usually used for the qualitative identification of gases and the quantitative determination of their concentration [1]. An artificial nose system consists of three main components: a gas sensor (primary converter), a signal acquisition and pre-processing device, and a pattern recognition algorithm [2]. Gas identification is usually carried out using artificial intelligence technologies [3]. The purpose of the study is to investigate the gas recognition effectiveness by various machine learning methods, which do not require significant computing resources and can be implemented on the microcomputer and microcontroller bases using edge computing technologies. Particular attention was focused on improving the effectiveness of machine learning models for gas recognition.

Models of multi-class classification of the sensor data obtained using the field-effect transistor based on the reduced graphene oxide – porous silicon sandwich-like structure have been implemented in the study. The data sets were in the form of resistance profiles for different concentrations of such environmentally important gases as ethanol, ammonia, acetone, and toluene. The effectiveness of recognition of analyzed gases by support vector machine (SVM), Gradient boosting, k-nearest neighbors (KNN), and Decision tree methods was studied using confusion matrices and classification reports. The experimental data sets were divided into training and test samples in the ratio of 80 and 20 %, respectively. Accuracy, precision, recall, and F1-scores metrics were used to evaluate the effectiveness of the proposed machine learning models.

Based on the analysis of the obtained results, it was established that applied machine learning methods classify sensor data with satisfactory accuracy, which in most cases makes it possible to recognize the analyzed gases. An important parameter that affects the classification efficiency is the concentration of the analyzed gases. In the case of low concentrations, a decrease in the accuracy of multiclass classification is observed compared to models trained and tested using the full data set. Conversely, the machine learning models demonstrate better performance when the test set contains only sensor data for more than 5 % concentrations of analyzed gases. It was established that the KNN method provides reliable identification of gases in a wide range of concentrations. Based on the analysis of the classification efficiency of the considered algorithms, it is demonstrated that optimization of machine learning models by tuning their hyperparameters by automatically searching all combinations of arguments using the GridSearchCV function [4] can improve the accuracy of gas recognition.

[1] Y. Xu, X. Zhao, Y. Chen, W. Zhao, *Sensors*, **18**, 3264 (2018).

[2] Z. Ye, Y. Liu, Q. Li, *Sensors*, **21**, 7620 (2021).

[3] D. Ma, J. Gao, Z. Zhang, H. Zhao, *Sens. Actuators B Chem.*, **330**, 129349 (2021).

[4] J. Bergstra, Y. Bengio, *Journal of Machine Learning Research*, **13**, 281 (2012).



PATHFINDING APPROACH BASED ON ARTIFICIAL BEE COLONY

Oleh Yarosh, Oleh Sinkevych, Bohdan Sokolovsky

Ivan Franko National University of Lviv,
50 Drahomanova str., Lviv, Ukraine,
oleh.sinkevych@lnu.edu.ua

Current study delves into solving the dynamic pathfinding problem for Unmanned Vehicles (UV), which holds significance across various practical fields such as robotics, drone development, autopilot systems, and self-learning platforms. Our proposed method, rooted in swarm AI algorithms, aims to tackle this challenge effectively. We focus on navigating a 2D environment cluttered with rectangular obstacles, where the objective is to continuously compute a suboptimal path from a starting point to a destination for a UV agent. This agent operates within a restricted vicinity around its current position, scanning for the next best movement point. The extent of this vicinity is determined by the agent's scanning capabilities.

Upon detecting obstacles, the agent adapts its trajectory accordingly. We employed the constrained ABC (cABC) metaheuristic, renowned in swarm AI, for these computations. To guide the agent toward the target point, we presented a weighted objective function which is iteratively solved via cABC. The validation of our approach has been tested across several 2D maps of differing complexities and obstacle densities. Because the guided function consists of three weighed components related to a) Euclidean distance to the target, b) avoiding obstacles, and c) keeping the path smooth, we conducted numerical experiments to estimate the effect of weights on pathfinding capabilities. The results have shown the significant impact of weaknesses, which should be broadly taken into account in future studies.

Additionally, we formulated and solved an inverse problem to identify the optimal function weights. It has been revealed that the inverse problem is computationally expensive, and special guiding rules should be adapted to improve pathfinding accuracy. Our results underscore the promise of our approach, offering a valuable addition to existing pathfinding solutions.

- [1] E. Yanmaz, S. Yahyanejad, B. Rinner, H. Hellwagner, and C. Bettstetter, "Drone networks: Communications, coordination, and sensing", *Ad Hoc Netw.*, vol. 68, pp. 1–15, Jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2017.09.001>.
- [2] P. Bhattacharjee, P. Rakshit, I. Goswami, A. Konar, and A. K. Nagar, "Multi-robot path-planning using artificial bee colony optimization algorithm", in 2011 Third World Congr. Nature Biologically Inspired Comput. (NaBIC), Salamanca, Spain, Oct. 19–21, 2011. IEEE, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1109/nabic.2011.6089601>.
- [3] D. Karaboga and B. Akay, "A modified Artificial Bee Colony (ABC) algorithm for constrained optimization problems", *Appl. Soft Comput.*, vol. 11, no. 3, pp. 3021–3031, Apr. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2010.12.001>.
- [4] A. Q. Faridi, S. Sharma, A. Shukla, R. Tiwari, and J. Dhar, "Multi-robot multi-target dynamic path planning using artificial bee colony and evolutionary programming in unknown environment", *Intell. Service Robot.*, vol. 11, no. 2, pp. 171–186, Feb. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11370-017-0244-7>.



МЕРЕЖЕВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОБРАЖЕНЬ ТА ЇХНІЙ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ЧАСТКОЮ ШУМІВ

Олексій Кравчук, Іван Довгань, Андрій Дребот, Олег Кушнір
кафедра оптоелектроніки та інформаційних технологій, Львівський
університет імені Івана Франка, м. Львів вул. Тарнавського 107,
oleksii.kravchuk@lnu.edu.ua, oleh.kushnir@lnu.edu.ua

Останні роки відзначаються значним розвитком багатьох галузей, пов'язаних зі штучним інтелектом, зокрема комп'ютерного зору, розпізнавання образів і опрацювання природної мови [1, 2]. Раніше в праці [3] було запропоновано аналогії між текстами та цифровими зображеннями, а також нові підходи до аналізу зображень, запозичені зі статистичної лінгвістики та засновані на вивченні відомого явища спалахів (intermittance) і довгосяжних кореляцій. Було показано, що такі підходи дають змогу кількісно відрізнити інформативні зображення від шумів, за аналогією до задачі розрізнення природних текстів від рандомних символічних послідовностей [3].

Дане дослідження продовжує цей напрям і спрямоване на аналіз мережевих характеристик цифрових зображень залежно від кількості шуму на зображенні, а також на виявлення можливих кореляцій між цими величинами. Загалом для цього можна використати методи та алгоритми побудови лінгвістичних мереж (див. [4]) і визначення їхніх характеристик, які раніше було розроблено авторами. Основною перешкодою в розвитку аналогій між зображеннями та текстами є різна вимірність цих об'єктів, а шляхи її подолання частково окреслені в праці [3]. Проте оскільки стандартний перехід від двовимірного зображення до одновимірного тексту за рецептами [3] породжує оманливі сусідства пікселів та пропускає деяких сусідів, було вирішено застосувати інший прийом: будувати штучні «тексти», в яких сусідство «слів» (чисел, які є рівнями яскравості пікселів) коректно відповідає сусідству пікселів у зображенні.

Для одержання мережі рівнів яскравості пікселів зв'язки між вузлами-пікселями будували із врахуванням їхнього сусідства на зображенні з деяким радіусом $r = 1, 2, \dots$ (тобто мережа враховує зв'язки між деяким центральним пікселем із усіма сусідами на вікнах відповідно $3 \times 3, 5 \times 5, \dots$). Із мережевих характеристик ми брали до уваги найперше середню по мережі довжину найкоротшого шляху та середній коефіцієнт кластерності мережі [4].

Взаємозв'язок мережевих характеристик зображень і відсотку білого шуму на них дає змогу використати ці характеристики як своєрідну метрику відносної кількості шумів і тим самим запропонувати нові методи встановлення співвідношення між інформативною та шумовою складовою зображення.

- [1] R.C. Gonzalez, R.E. Woods, Digital Image Processing, Pearson (2007), 976 p.
- [2] A. Clark, C. Fox, S. Lappin, The Handbook of Computational Linguistics and Natural Language Processing, Wiley-Blackwell (2010), 802 p.
- [3] І.Я. Довгань, О.С. Кушнір, Ю.М. Фургала, Г.І. Паночко, Електроніка та інформ. технол., **17**, 3 (2022)
- [4] R. Ferrer i Cancho, R.V. Solé, Proc. R. Soc. Lond. B, **268**, 2261 (2001).



РОЗРОБКА НАВЧАЛЬНОЇ ВЕБ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ НАСЕЛЕННЯ ДО ВІЙНИ

Данило Петрусенко, Михайло Павлик

Львівський національний університет імені Івана Франка,
факультет електроніки та комп'ютерних технологій,
вул. Драгоманова, 50, Львів, 79005, Україна
danylo.petrusenko@lnu.edu.ua

В історії людства, зокрема у сучасному світі питання безпеки держави та готовності до можливих воєнних конфліктів є надзвичайно актуальними та важливими. Наслідками можуть бути не тільки людські втрати, руйнування інфраструктури, економічні та соціальні кризи, а й втрата суверенітету та незалежності держави, як такої. Безсумнівно, захист є однією з основних цілей національної безпеки багатьох країн. Статистика [1] каже, що основна частка населення країн західного світу покладається на армію та інші державні безпекові структури в разі збройних конфліктів, попри важливість громадської готовності та самостійної підготовки до екстремальних ситуацій.

Зрештою, російсько-Українська війна, яка триває, показала, наскільки важливо саме цивільному населенню держави бути готовим до ворожого нападу на батьківщину. Це не тільки спрощує обороноздатність країни в непростий критичний період війни, але й суттєво запобігає втратам генофонду. Тому важливою задачею є створення та впровадження інноваційних рішень, спрямованих на підвищення свідомості та готовності громадян до дій в схожих ситуаціях.

Було розроблено навчальну веб платформу для підготовки населення до війни. Веб платформа включає в себе необхідний набір функціоналу для того, аби швидко та з користю отримувати інформацію, яка допоможе вжити необхідних локальних заходів в разі війни не тільки у мирному оточенні, а й на полі бою в якості військового чи мешканця прифронтової території. Зокрема, платформа надає можливість користувачу перевіряти здобуті знання та навички шляхом тестування у категоріях, що охоплюють широкий спектр тематик від військової справи та тактичної медицини до цивільного захисту.

Веб сервіс має на меті не лише бути інструментом для самостійної підготовки, але й сприяти підвищенню загального рівня готовності та свідомості громадян у відношенні до можливих воєнних загроз. Доступ до повного функціоналу та всіх опублікованих матеріалів з корисними даними надається користувачу виключно після проходження етапу авторизації та автентифікації користувача на платформі. Це допоможе збирати статистику для покращення програмного продукту в подальшому, що дозволить додавати новий функціонал та покращувати якість матеріалів для самоосвіти.

Для розробки веб платформи було використано фреймворки Django та Bootstrap. Характеристики архітектурної будови програмного продукту включають можливість використання його як веб застосунок на будь-якому пристрої з різноманітним співвідношенням сторін та роздільною здатністю екрану.

[1] Готовність за умов війни воювати за свою країну: дослідження "Рейтингу" з Gallup International. URL: <https://ratinggroup.ua/research/ukraine/gotovnist-za-umov-vijni-voyuvati-za-svoyu-krayinu-doslidzhennya-rejtingu-z-gallup-international.html>.



FINE-TUNING LLAMA 2 FOR SENTIMENT ANALYSIS

Marianna Prytula, Igor Olenych

Ivan Franko Lviv National University

50, Dragomanov str., 79005 Lviv, Ukraine,

marianna.prytula@lnu.edu.ua, igor.olenych@lnu.edu.ua

In today's world, vast text data, including reviews or customer feedback, are generated daily on social media. These data hold valuable insights that help make informed decisions, shape business and marketing strategies, and affect individual opinions. Sentiment analysis is a growing field at the intersection of linguistics and computer science that attempts to determine the sentiment contained in text automatically.

In recent years, the emergence of LLMs has profoundly reshaped natural language processing and sparked unprecedented enthusiasm for these powerful language models [1, 2]. Therefore, the adaptation of the Llama 2 model for sentiment analysis of Ukrainian-language texts was studied in the work.

The multi-domain dataset with scraped user comments about shops, restaurants, hotels, medical facilities, fitness clubs, and the provision of various services that consisted of approximately 11000 samples in the Ukrainian language was used while adapting a Llama 2 for sentiment analysis. The data was divided into two labeled classes: positive and negative.

Llama-2-7b-chat-hf was used to build a sentiment analysis model. The dataset was formatted according to the prompt template of the chat version model: system prompt, user prompt, and model answer. After splitting the dataset into training and testing sets, a tokenizer was loaded to convert text into a format understandable to the pre-trained model. The Quantized Low-Rank Adaptation method was applied to fine-tune a small fraction of the LLM parameters with 4-bit quantization. Then a Parameter-Efficient Fine-Tuning library was applied for efficiently fine-tuning LLMs by operating on a reduced number of parameters. Each training batch consisted of 8 examples per computational device to use the GPU memory resources effectively. An initial learning rate of $2e-4$ was employed. The AdamW optimizer was utilized as a balanced approach to updating model parameters. The model was trained over 4 epochs.

The testing dataset has contained 1283 negatively and 917 positively labeled samples. Due to the predominance of negative class in the dataset, more errors were made for the predicting positively labeled text (37 and 74 accordingly). An accuracy of 94.9% was obtained for the fine-tuned model.

[1] Ji Peiqi, Text sentiment analysis based on LLaMA models, Proc. SPIE, **13105**, International Conference on Computer Graphics, Artificial Intelligence, and Data Processing (ICCAID 2023), 131052E (2024), doi: [10.1117/12.3026733](https://doi.org/10.1117/12.3026733).

[2] J.O. Krugmann, J. Hartmann, Sentiment Analysis in the Age of Generative AI, Cust. Need. and Solut., **11**, 3 (2024), doi: [10.1007/s40547-024-00143-4](https://doi.org/10.1007/s40547-024-00143-4).



AUTOMATED REST API DOCUMENTATION USING CHATGPT FOR NODE.JS MICROSERVICE

Oleh Chaplia, Halyna Klym

Lviv Polytechnic National University, Stepan Bandera Str., 12, Lviv, 79013
oleh.y.chaplia@lpnu.ua, halyna.i.klym@lpnu.ua

Documenting APIs for microservices introduces intricate challenges, as the distributed nature of microservices architecture demands a higher degree of coordination and consistency in documentation. Microservices require frequent updates and revisions in documentation that must be synchronized across all services to avoid discrepancies. A robust versioning strategy for documentation is necessary to communicate changes and deprecations to developers. Implementing interactive documentation and standardizing documentation practices across teams and services ensures clarity, accuracy, and ease of use for developers.

This research provides a method that fills the gaps needed to enhance documentation practices' efficiency and effectiveness in microservices architectures. First, existing methods of documentation creation were defined and compared. Manual documentation creation, Documentation Generation from Frameworks, External Tools, and Services (e.g., Postman, Insomnia, Swagger, Apiary, RAML), and recently created AI Services exist. Each method has benefits and challenges, such as customization, efficiency, community support, and automation. However, they also have limitations and potential issues, such as time-consuming maintenance, limited customization, privacy concerns, and complex implementation.

Then, the method of automated documentation generation with a system prototype was modeled, developed, and tested. ChatGPT was used as an AI tool for code analysis and documentation extraction. The system generates the documentation for the Node.js microservice, automatically validating the results by implementing automated API tests. Then, the system automatically synchronizes the created documentation with the validation tests. The system finishes creating a documentation file in Swagger format. Different output formats are supported. Additional self-validation of the created documentation is executed.

After that, validation and evaluation of the results were conducted. The system was tested in a local environment. Results show that automated documentation generation provides precise results. However, sometimes, minor discrepancies can appear in the documentation file. These minor issues do not critically impact the system, compared to the improvements to the development time and reduced time instead of manual documentation generation.

- [1] J. Bogner, P. Wójcik, O. Zimmermann, How Do Microservice API Patterns Impact Understandability? A Controlled Experiment [J]. arXiv, (2024). DOI: 10.48550/arXiv.2402.13696
- [2] A.S. Abdelfattah, T. Cerny, Roadmap to Reasoning in Microservice Systems: A Rapid Review [J]. Applied Sciences, 13, 1838 (2023). DOI: <https://doi.org/10.3390/app13031838>
- [3] D. Nam, A. Macvean, V. Hellendoorn, B. Vasilescu, B. Myers, Using an LLM to Help With Code Understanding, in: Proceedings of the IEEE/ACM 46th International Conference on Software Engineering (ICSE '24). Association for Computing Machinery, New York, USA, Article 97, 1–13 (2024). DOI: 10.1145/3597503.3639187
- [4] A. Decrop, G. Perrouin, M. Papadakis, X. Devroey, P.-Yves Schobbens, You Can REST Now: Automated Specification Inference and Black-Box Testing of RESTful APIs with Large Language Models [J]. arXiv, (2024). DOI: arXiv:2402.05102



ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ МОДЕЛЕЙ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ

Ігор Яковенко, Ярослав Бойко, Михайло Павлик
Львівський національний університет імені Івана Франка,
факультет електроніки та комп'ютерних технологій
boexer9999@gmail.com

Метою представленої роботи було визначення методів оптимізації моделей машинного та глибокого навчання, придатних для адаптації моделей до розгортання на пристроях з обмеженими обчислювальними ресурсами. Основними критеріями вибору методів ми визначили розмір оптимізованих моделей та їх продуктивність за умови збереження достатнього рівня точності результатів (достатність залежить від конкретної задачі). Методи, які були досліджені — квантизація, обрізання та дистиляція знань у моделях. Коротка характеристика цих методів:

Квантизація відноситься до процесу зменшення точності чисел, що представляють ваги моделі. Замість використання рухомої точки, яка вимагає багато бітів для зберігання, квантовані ваги можуть бути представлені меншою кількістю бітів (наприклад, 8 або 16 бітів). Це дозволяє зменшити обсяг пам'яті, не сильно втрачаючи точність моделі.

Обрізування полягає в видаленні найменш важливих ваг моделі. Це може бути корисно для зменшення розміру моделі та прискорення її інференсу. Обрізка може бути здійснена на основі значень ваг, градієнтів або інших критеріїв.

Дистиляція знань включає передачу знань від однієї моделі (вчителя) до іншої (учня). Вчитель може бути більшою та точнішою моделлю, а учень — меншою та швидшою. Дистиляція допомагає зменшити розмір моделі, зберігаючи при цьому її точність.

Для вивчення згаданих методів проведено серію обчислень на основі їх реалізації в програмному пакеті Intel Neural Compressor [1]. Це відкрита бібліотека Python, яка працює на процесорах та графічних прискорювачах Intel. Вона надає єдиний інтерфейс для підтримки кількох фреймворків глибокого навчання, таких як TensorFlow, PyTorch, ONNX Runtime та MXNet. Тестові набори даних і базові моделі (ResNet, MobileNet, Inception різних версій), вибрані для досліджень, стосуються такої предметної області, як розпізнавання зображень. Основними результатами досліджень було встановлення таких фактів. Посттренивальна статична квантизація дає можливість в широкому діапазоні керувати розміром моделі, проте малі розрядності відчутно впливають на точність класифікації. Для досягнення збалансованого результату за методом обрізування необхідна, серед іншого, ретельна оптимізація гіперпараметрів моделей. Найкращі результати за методом дистиляції знань отримано на сімействі моделей ResNet. Крім цього, за сукупністю характеристик отриманих за цим методом моделей можна зробити висновок про перспективність його застосування в галузі Fog/Edge-обчислень.

- [1] Intel Neural Compressor. [Electronic resource]. – 2024. – [Cited 2024, 1 May.]. – Available from : <https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/tools/oneapi/neural-compressor.html#gs.95tkk8>



ІНТЕГРАЦІЯ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ В DATA MESH СТРУКТУРУ

Маркіян Фостяк

Львівський національний університет імені Івана Франка,
факультет електроніки та комп'ютерних технологій
м. Львів, вул. Драгоманова, 50, 79005, Львів Україна
markiyan.fostyak@gmail.com

Data Mesh - це концепція організації даних, в якій кожен домен або бізнес-задача має свій власний набір даних та власну команду, що відповідає за ці дані [1]. В роботі запропоновано використати концепцію Data Mesh для вирішення задачі кредитного рейтингу на основі ML домену. ML алгоритми відслідковують кредитні дані клієнта та розраховують оптимальний рівень ризику та дохідності для покращення точності та ефективності оцінки кредитного ризику [2,3].

Схема Data Mesh структури на вході містить три домени, які отримують відповідні операційні дані. На основі отриманих даних кожна доменна команда розробників будує дата продукти для аналізу. Ці дата продукти об'єднуються в один комплексний домен агрегат, як централізоване місце для доступу до різноманітних даних. За допомогою комплексного агрегату можна створювати складні звіти та аналізи, які враховують інформацію з різних аспектів бізнесу компанії і формують дата продукт для різних структур: керівництва, відділу маркетингу, служби підтримки, моделей класифікації.

Для навчання моделей сформовано дані на основі моделі даних Open Banking API. Модель даних для транзакцій містить інформацію про фінансові операції, такі як перекази, оплати, зняття готівки та інші. Дані були опрацьовані, стандартизовані, категоризовані, а також розбиті на 3 блоки: витрати, ризиковані витрати та надходження. Результати дослідницького аналізу даних показали можливість використання даних для побудови ML моделей.

Для вирішення задачі кредитного рейтингу в ML домені розглянуто різні види класифікаторів, отримано параметри класифікації та визначено колонки даних, які найбільше впливають на точність класифікації. Створено колонку даних, яка дорівнює різниці надходжень та видатків. Показано, що наявність цієї колонки даних збільшує точність класифікації в середньому на 5 відсотків. Найкращі параметри класифікації отримано для моделі класифікатора Random forest.

Важливість колонок досліджено шляхом аналізу матриці кореляції та feature extraction. Показано, що для отримання раціонального пояснення результатів важливо розділити дані на 2 частини відносно медіани колонки різниці надходжень і видатків. Проаналізовано і встановлено патерни залежностей ймовірності отримання і повернення кредиту від вхідних даних.

Проведені дослідження є важливими для автоматичного розрахунку кредитного рейтингу та визначення оптимальних умов кредитування для кожного клієнта.

[1] A.Goedegebuure, I.Kumara at all, arXiv:2304.01062 (2023)

[2] A.R.Khalid,N.Owoh, O.Uthmani at all, Big Data Cogn. Comput., 8(1) (2024).

[3] L.O.Hjelkrem, P.Lange, E.Nesset, Journal of Risk and Financial Management 15(12):597 (2022).



РОЗРОБКА ВЕБ ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ СПІЛЬНИХ ТУРИСТИЧНИХ ПОДОРОЖЕЙ

Юрій Кузьо, Михайло Павлик

Львівський національний університет імені Івана Франка,
факультет електроніки та комп'ютерних технологій,
вул. Драгоманова, 50, Львів, 79005, Україна
yurii.kuzo@lnu.edu.ua

Сучасний світ демонструє безперервне зростання туристичної активності, що підживлюється глобалізацією, збільшенням доходів населення та розвитком транспортних технологій. Проте, збільшення кількості мандрівників та їхніх вимог ставлять перед туристичною індустрією нові виклики, зокрема, у сфері організації спільних подорожей. Головною проблемою є відсутність інтегрованої платформи, що дозволяла б з легкістю знаходити однодумців, планувати маршрути, обговорювати деталі подорожей та ділитися досвідом. Тому спостерігається зростаюча потреба в інноваційних рішеннях у сфері туризму, які б спрощували процес організації спільних подорожей та сприяли б формуванню глобальної мережі мандрівників.

Попит на цифрові платформи, що забезпечують зручний зв'язок і співпрацю між користувачами з різних куточків світу, збільшується у зв'язку з глобалізацією та зростанням доступності міжнародних подорожей.

Розроблено веб застосунок "Mandry", який спрямований на організацію спільних туристичних подорожей. Застосунок реалізований з використанням сучасного стеку технологій, включаючи Python, Django та Django REST Framework [1], Git, Docker і Docker-Compose, а також веб-технологій HTML, CSS і JavaScript для фронтенду. Основна ідея проєкту полягає в тому, щоб забезпечити платформу, де користувачі могли б легко планувати, організувати та приєднуватися до туристичних подорожей по всьому світу, з акцентом на спільнотність та взаємодію.

Серверна частина застосунку розроблена на Django, яка взаємодіє з клієнтською частиною через REST API, забезпечує гнучкий та масштабований інтерфейс. Окрім того, розроблено систему аутентифікації користувачів, чат для обговорення деталей поїздки, а також систему рейтингу для оцінки учасників та організаторів подорожей.

Проведено інтеграцію Google Maps API для покращення планування маршрутів та додавання можливостей знаходження "додаткових цікавих місць" уздовж запланованих маршрутів, а також інтеграцію з іншими сервісами Google для надання інформації про готелі, ресторани та інші послуги.

Враховуючи зміни у поведінці споживачів, які все більше прагнуть персоналізації, гнучкості та взаємодії, актуальність розробки веб-застосунку "Mandry" є беззаперечною. Він відповідає сучасним тенденціям споживання туристичних послуг, надаючи користувачам не лише інструменти для планування та організації подорожей, а й платформу для соціальної взаємодії та спільнотворення.

[1] W. S. Vincent, Django for APIs: Build web APIs with Python & Django, Independently published (2018), p.190.



SOLVING THE GROUND STATE ELECTRONIC WAVEFUNCTION BY VARIATIONAL MONTECARLO WITH A NEURAL NETWORK ANSATZ

Mykhailo Moroz, Oleg Bovgyra

Ivan Franko National University of Lviv

e-mail: michael08840884@gmail.com

Finding the many-electron wavefunction for atomic systems is one of the core problems of solid-state physics. The ability to predict the wavefunction for a given system gives us access to their physical, optical or chemical properties. A variety of approximation methods already exist, most popular of which are methods based on the Density Functional Theory (DFT), as well as hybrid methods based on combining it with the Hartree-Fock (HF) method. While they are quite performant compared to the more accurate coupled cluster methods, they can be much less accurate. While in theory DFT should be capable of finding the exact ground state, it is limited by the absence of an exact exchange-correlation functional.

Recently there has been much interest in applying artificial neural network (ANN) techniques to solving ab initio problems while also capturing the correlation energy accurately. The primary optimization method in machine learning (ML), stochastic gradient descent (SGD) has a lot of similarities to the variational Monte-Carlo (VMC) methods where the stochastically approximated wavefunction energy is minimized. Due to this similarity, it is quite natural to combine ML with VMC. The first attempt to use ANN for done by Carleo et al. [1] in 2017 and reaching chemical accuracy in 2020 by Phau et al. introducing the FermiNet architecture [2].

In this study we investigate the application of non-gradient based optimization approaches for VMC. Our neural network architecture is similar to that of [2], with electron coordinates and distances relative to the nuclei are inputted electron layers which also exchange features to other electron layers invariant to swapping of the other electron coordinates. To get the functions for each electron orbital we multiplied them by an envelope to satisfy the zero boundary conditions at infinity. A Slater determinant is constructed out of these orbital functions to get the final antisymmetric electron wavefunction. For greater numerical stability the determinant as well as the local energy are computed in logarithmic space, which also simplifies some equations.

Here we used the Evolution Strategies method to minimize the approximated energy using the Metropolis-Hastings algorithm. We implemented the neural network and the optimizer in Unity compute shaders. Our approach was tested on a set of test systems, for example, for the Lithium atom, our method computed the energy of -7.451 Hartree, compared to the true energy of -7.478 Hartree, with a total 0.36% error. For Neon, our method achieved an optimized energy of -54.470 Hartree, compared to the true energy of -54.589 Hartree meaning a total error of 0.21%. Using the HF method the computed energies would have been -7.432 and -54.405 Hartree respectively, meaning this approach is much more accurate.

- [1] G. Carleo, M. Troyer, Solving the quantum many-body problem with artificial neural networks, *Science*, 355, 602-606 (2017). DOI:10.1126/science.aag2302.
- [2] D. Pfau, J.S. Spencer, A.G.D.G. Matthews, W.M.C. Foulkes, Ab initio solution of the many-electron Schrödinger equation with deep neural networks, *Phys. Rev. Res.*, 2(3), 033429 (2020).

АВТОРСЬКИЙ ПОКАЖЧИК

- Ahmad A. B5
 Aksimentyeva O. B8
 Bala I. A1
 Bershchanskyi Y. G2
 Bihanych V.Yu. E5
 Borovets Y. B2
 Bovgyra O. I16
 Brezvin R.S. B21
 Chaplia O. I12
 Cheipesh Y.I. E5
 Demianyk O. B1
 Demkiv T. H10, B17
 Deva L. E3
 Dukarov S. E9
 Eliyashevskyi Y. C7
 Fedorchuk M. A12, A25
 Filep M.J. A21
 Gamernyk R. B13
 Gnatenko Kh.P. D3
 Gourbilleau F. A20
 Gupta N. B3, B4, B5, F1
 Halyatkin O. H10
 Haysak I.I. E5
 Heitmann J. A20
 Hladyshko A. H4
 Honchar D. C7
 Hryhorova T.V. A3
 Huk A. C5
 Hura V. I5
 Ilchuk H. A24
 Ilchuk V. B2
 Ivanichok N. C9
 Jeżowski A. E2
 Kapustianyk V. A8, C3, C7
 Karpiuk N. G4
 Kashuba A. E3, A24
 Kashuba I.V. A3
 Kaushal S. A1
 Khomenko K. H6
 Khomenko O. H6
 Khomenkov D. A20
 Khomenkova L. A20
 Khyzhun O.Yu. B21
 Klevets V.Yu. E5
 Klym H. G2, G4, G8, G9, I12
 Kokhan O.P. A21
 Kolesnichenko Yu.A. A2
 Kolisnyk A.S. A2
 Kolkovska H. C9
 Kolkovskyi P. C9
 Kolodiy I.V. A3
 Konopelnyk O. B8
 Konstantinov V.A. A15
 Kotliar N. G7
 Kotlov A. B21
 Kravets I. G7
 Krivchikov A.I. E2
 Krivtsov V. A12
 Kulyk Y. C7
 Kushlyk M. B9
 Limbu A. B4
 Luchechko A. B9, G7
 Lys R. B13
 Mahlovana A. B9
 Mahlovanyi B. B9
 Malakhovska T.O. A21
 Malynovska A. A25
 Markiv Y. B8
 Marushchak R. B2
 Melnichuk O. A20
 Melnykova N.M. B21
 Moroz M. I16
 Nikolenko A. A8
 Olenych I. I11, I7
 Omelchenko L.V. A2
 Osadchuk O. I7
 Pakosh V. C3
 Pasternak R. B9
 Pechko V.V. A21
 Petrenko E.V. A2
 Petrusha I. A8
 Petrushenko S. E9
 Piasecki M. B21
 Pogodin A.I. A21
 Polevoy S. B1
 Ponomaryov S. A20
 Portier X. A20
 Poverzhuk V. A13
 Prokopchuk M. B9
 Pryshko I. H10, B17
 Prytula M. I11
 Pylypiv I. B2, C5
 Qureshi H.S. D1
 Rachiy B. C9
 Ramos M.A. E2
 Razzokov A.Sh. E1
 Rogacki K. A7
 Rudavskyi I. G9



Rudysh M. E3
Rudysh M.Ya. B21
Sadovyi B. A8, C3, C7
Sadovyi P. A8
Sagan V.V. A15
Savchenko N.D. E5
Schafler E. A3
Semerenko Yu.A. A3
Semkiv I. E3, A24
Senkiv O. A25
Šetina M. E9
Shapovalov Yu.O. A3
Shchepanskyi P. E3
Shchepanskyi P.A. B21
Shender I.O. A21
Shikura O. H6
Shpotyuk Y. B9
Shumilin S.E. A3
Shvets V. B17
Sinkevych O. I8
Slivka A.G. E5
Slobodzyan D. B9
Smirnov S.N. A3
Sohail Md. F1
Sokolovsky B. I8
Solovjov A. A7
Solovjov A.L. A2
Soltys A. C9
Stadnyk V.Y. B21
Stepanov O. G8
Stryzhak V. E9
Sukhov R. E9
Susla A.I. E5
Suslikov L.M. A21
Susulovska N.A. D3
Szewczyk D. E2
Szłęczak J. B9
Tabachnikova E.D. A3
Tamarit J. Ll. E2
Terekhov A. A7
Tikhonovsky M.A. A3
Turko B. A8, C3, C7
Turta V. H10
Tymkiv Y. B13
Тымык S. D4
Vasil'ev V. A8, C3, C7
Voloshinovskii A.S. B21
Vovk R.V. A2
Yaremiy I. C9
Yarosh O. I8
Yarovyi V. A7
Yermakov O. B1
Zehetbauer M.J. A3
Аксiментьєва О. E10
Артюх В. B16
Баб'як С. G1
Баран О. F8
Бедрий Т. C13
Берко Я. H2
Биркун А. G12
Бiгдай В. B18
Бiлик Р. A4, A5
Бiляк К. C12
Бобиляк Н. A26
Бовгира О. C11, C16
Бойко Б. C2
Бойко Я. I13
Бондарь Н. A6
Борденюк І. C18
Бордун Б. B18, C12
Бордун І. B18, C12
Брезвін Р. B11, B14, B15, A26
Брезвін Р.С. A19
Бурик І. C18, G12
Бурик М. G12
Ваврух М. F2
Вадим Д. H8
Васильєв В. C4
Винничук О. C13
Вишневський О. G3
Віра О.І. A9
Галян В. B16
Галяткін О. A5
Генерал А. B19
Герасименко А. C10
Гірник І. G3
Гончар Ю. E6
Горбатенко Ю. A10
Горбенко Ю. E10
Григорчак О. H7
Грицак А. E4
Грицак А.М. C6
Гурін І. A18
Давидович В.А. C6
Держко З. G11
Дзіковський В. C11
Дзіковський Д. F2
Добрянський В. C16
Довгань І. I9
Долгов-Гордійчук С. C8

- Дребот А. І9
Дукаров С. С17
Еліяшевський Ю. G3
Еліяшевський Ю.І. А9
Єрмаков М. С2
Єрмаков О. В6, В7
Єрмоменко О. А17
Єрмоміна К. А17
Жаботинський В. С8
Жицький А. Е10
Жолубак І. G5
Іваньо А. Е7
Іващенко І. В16
Іващенко М. С4
Калиненко Д.О. Н3
Калініна Т. А18
Капустяник В. Е4, А11
Капустяник В.Б. А9, С6
Карплюк Л.Т. А19
Кашуба А. А26
Кевшин А. В16
Климкович С. С13
Климов О. С2
Коваленко М. С11, С16
Козак А. F3
Козинець А. П
Козлюк Д. G5
Колесник Р. D2
Коломієць В. А11
Коломієць В.А. С6
Корнейчук А. С10
Коростенський Р. G6
Кофлюк І. В18
Кошмак І. F9
Кравчук О. І9
Крикля О. І3
Кузьо Ю. І15
Кулик Ю. А4
Кулик Ю.О. А27
Кулініч Ю. F7
Кушнір О. І9
Лавренюк Є.В. F5
Лавриненко О. В12
Лапко В. Н5
Лариса О. С18
Левченко Б. С11
Леоненко Є. В12, С15
Лісовий О. G12
Лучечко А. Н2
Маньковська О. В7
Матяш І. С18
Медвідь І. В18, С12
Мелех Б. F3, F6, F9
Мелех Б.Я. F4
Мізіна В. А17
Молочков В.М. Н3
Морозовська Г. С15
Мудрий С. А4, А5
Мудрий С.І. А27
Муньоз-Санхосе В. С2
Наголенко В. А6
Назаренко Д. С18
Небола І. С10
Нестеренко А. І4
Никируй Ю. А16
Німчук О. F7
Овсяник Р. А5
Огородник Б. F8
Одnodворець Л. G12
Оленич І. G1, G6
Онисько М. С16
Опанасюк А. С2, С4
Осадчий А. Е8
Павленко С. G12
Павлик М. G6, І10, І13, І15
Павлишин Д. А19
Пазуха І. С8
Пацик А. А22, А23
Перекрестов І.С. Н3
Петрусенко Д. І10
Петрушенко С. С17
Пилипенко О. С8
Попільовський Н. А14
Порада Н. В18
Присяжний А. F8
Присяжнюк В. Е6, Е7, Е8
Приходько С. Н7
Пришко І. В11
Процак М. С12
Пруніца В.В. А27
Пшеничний Р. С2
Раллев М. С15
Раллев М. В12
Рашковецький Л. С18
Рижко О. А6
Роман Б. С1
Романенко Я. А22, А23
Романцова О. А10
Рудиш М. А26, В14, В15
Рудиш М.Я. А19



Рудко М. Е4
Рябчук К. Н8
Саган В. А10
Світличний Є. В19, В20
Сембратович Н. А14, А16
Ситніков В.С. Н3
Сідор О. Н1
Скалій Т. G10
Склепова С.-В. С13
Соловійов М. А16
Солтис А. С13
Сорока О.С. F4
Сорокін В. С12
Стадник В. В11, В14, В15
Сухова В. С17
Сухова Р. С17
Тарасенко А. В16
Томіна А.-М. А17, А6
Турко Б.І. А9
Феденко Д. Н9
Федоненко А. С17
Федорчук А.О. А19
Федченко Є. С18
Фесенко О. В12, С15
Фостяк М. І14, І2
Хвищун І. G11, Н1
Хлебніков А. А18
Хомишин І. В18
Чічерін Д. С14
Чмелевський А.М. Н3
Чорній Ю.В. С6
Чорнодольський Я.М. В10
Чудик С. F9
Шаправський А. В14, В15
Шевченко М. F6
Штука О. В11
Щепанський П. В14, В15
Щудло М.І. В10
Якимець Д. В15
Яковенко І. І13
Яремкевич А. В12, С15
Яцинюк Т. В16
Яцюшка Д.В. В10

Наукове видання

Міжнародна конференція студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики „Еврика-2024”

Підписано до друку _____. Формат 60×84/16. Папір друк.
Друк на різогр. Умовн. друк. арк. _____. Тираж 100 прим. Зам. № _____

Видавничий центр Львівського національного університету імені Івана Франка
79000, Львів, вул. Дорошенка, 41.