

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Лучечка Андрія Петровича
«Нерівноважні електронні фото- та термостимульовані процеси в оксидних
матеріалах функціональної електроніки на основі галію та алюмінію»,
яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних
наук за спеціальністю 01.04.10 - фізики напівпровідників і діелектриків.

Актуальність дисертації. Робота Лучечка А.П. присвячена встановленню особливостей люмінесценції та закономірностей процесів захоплення і рекомбінації носіїв заряду в оксидних матеріалах на основі галію та алюмінію. Слід зазначити, що ці матеріали є широкозонними діелектриками, хоча деякі з них, зокрема й оксид галію $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$, при отриманні за певних умов або при додатковому легуванні, демонструють напівпровідникові властивості, що робить їх перспективними матеріалами для створення пристрій силової електроніки.

Практичне використання цих оксидів у різних областях науки і техніки стимулює вивчення впливу структурних дефектів та сторонніх домішок, на особливості передачення енергії збудження та утворення в забороненій зоні кристалів локальних енергетичних рівнів, які суттєво впливають на властивості пристрій виготовлених на їхній основі. Саме ці аспекти вивчаються в дисертаційній роботі.

Актуальність теми також підтверджується стрімким зростанням останніми роками кількості наукових публікацій у міжнародних журналах з високим рейтингом, безпосередньо пов'язаних з цією проблематикою.

Дисертаційна робота виконана протягом 2006-2020 рр. відповідно до тематичних планів Львівського національного університету імені Івана Франка у рамках наукових програм Міністерства освіти і науки України, а також міжнародного проекту НАТО в рамках програми “Наука заради миру та безпеки”.

Структура роботи. Дисертація за структурою і викладом відповідає вимогам ДАК МОН України. Зокрема, вона складається із вступу, шести розділів, загальних висновків, списку цитованої літератури та одного додатка.

Перший розділ достатньо повно відображає огляд наукових публікацій, що визначають сучасний рівень досягнень в даній галузі та актуальність тематики дисертації. Заслуговує на увагу розглянуте явище оптично-стимульованої люмінесценції (ОСЛ), яка останніми роками інтенсивно вивчається з огляду на використання в дозиметрії іонізуючого випромінювання як альтернатива термолюмінесцентній дозиметрії.

У **другому розділі** подано експериментальні методики, які використані у роботі. Розглянуто отримання експериментальних зразків, наведено результати структурних досліджень полікристалів галатів магнію та цинку зі структурою шпінелі, а також нанокераміки на основі гадоліній галієвого гранату.

Третій розділ присвячено вивченю механізмів фотостимульованих процесів в оксиді галію. Автор виконав розрахунки енергетичних параметрів фотолюмінесценції іонів Cr^{3+} в інтервалі температур 4,5-300 К, а також енергій активації центрів, відповідальних за виникнення терmostимульованої люмінесценції (ТСЛ) та терmostимульованої провідності (ТСП). На основі отриманих результатів запропонував схеми локальних енергетичних рівнів у $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$.

У **четвертому** розділі автор відображає результати, які визначають особливості люмінесценції, процеси перенесення енергії збудження та механізми рекомбінації в матеріалах зі структурою гранату ($\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$, $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$), легованих іонами Cr^{3+} , Tb^{3+} , Yb^{3+} . Представлені результати розрахунку початкової концентрації та механізму гасіння люмінесценції в нанопорошках $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Yb}^{3+}$.

У **п'ятому** розділі автор представив результати спектральних досліджень люмінесцентних матеріалів MgGa_2O_4 та ZnGa_2O_4 , співлегованих іонами Eu^{3+} та Mn^{2+} . Було показано, що зміна хімічного складу галатів $\text{Mg}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Ga}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{3+}$, Mn^{2+} та концентрації європію здатні впливати на інтенсивність та колір

випромінювання таких люмінофорів. Також були досліджені люмінесцентні характеристики монокристалічних плівок $\text{Lu}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}:\text{Eu}^{3+}$, які ефективно випромінюють світло в оранжево-червоній ділянці спектра.

У шостому розділі автор розглядає фізичні процеси, що відбуваються в галатах магнію (MgGa_2O_4) та цинку (ZnGa_2O_4), і ортоалюмінаті ітрію (YAlO_3), легованих іонами Mn^{2+} , опромінених іонізуючим випромінюванням. Зокрема проведено вивчення явищ ТСЛ та ОСЛ в цих матеріалах. Проаналізовано температурні залежності часово-роздільної ОСЛ.

Наукова новизни та достовірність висновків роботи

Правильність отриманих автором результатів та сформованих на їх основі висновків роботи не викликає застережень, оскільки вони базуються на застосуванні сучасних експериментальних методик та апробованих теоретичних підходів при вивчені люмінесцентних властивостей оксидів на основі галію та алюмінію у широкому діапазоні температур, а також для різних типів та концентрацій легуючих домішок і довжин хвиль збуджуючого випромінювання.

Заслуговують на особливу увагу такі, **вперше отримані**, результати і висновки роботи:

- Основними точковими дефектами в оксиді галію, які створюють плиткі рівні захоплення з глибиною залягання $\sim 0,2$ еВ є атоми міжвузлового галію, а глибокі рівні захоплення з енергією 0.8-1.0 еВ утворені кисневими вакансіями.
- Встановлено, що зменшення інтенсивності ІЧ випромінювання, а також скорочення часу загасання фотolumінесценції, серії вихідних та відпалених на повітрі нанопорошків $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Yb}^{3+}$, пов'язані з концентраційним гасінням випромінювання Yb^{3+} за рахунок диполь-квадрупольної взаємодії.
- З'ясовано механізми перенесення енергії збудження від матриці до іонів активаторів та розраховано хроматичні діаграми свічення полікристалів $\text{MgGa}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{3+}, \text{Mn}^{2+}$ та $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{3+}, \text{Mn}^{2+}$.

- Вивчено характер температурних залежностей часово-роздільної ОСЛ галатів магнію та цинку і ортоалюмінату ітрію, легованих іонами Mn^{2+} , а також встановлено кореляцію з відповідними кривими ТСЛ.
- Показано, що ділянка лінійності інтегрального сигналу часово-роздільної ОСЛ знаходиться в діапазоні поглинених доз від 50 мГр до 1 кГр, що дає можливість використання ортоалюмінату ітрію легованого іонами Mn^{2+} в радіаційній дозиметрії.

Практична цінність роботи. Результати роботи Лучечка А.П. можуть бути використані при створенні люмінесцентних пристрій на основі галій та алюміній вмістних оксидів, а також при розробці нових чи вдосконалених існуючих функціональних матеріалів із заданими властивостями та характеристиками.

Отримані в дисертації результати також можуть бути корисними, у першу чергу, для дозиметрії іонізуючого випромінювання з використанням явища оптично-стимульованої люмінесценції, зокрема, в індивідуальній дозиметрії та медицині.

Публікації. Результати дисертаційної роботи Лучечка А.П. опубліковані у 76 наукових працях, зокрема в 25 статтях у міжнародних журналах, що індексуються наукометричними базами даних Web of Science та/або Scopus, та в 9 статтях у фахових періодичних виданнях України. Крім того, слід відмітити, що більше половини з цих статей опубліковані у журналах з високим імпакт-фактором. Також заслуговує на увагу хороша апробація результатів роботи на низці міжнародних профільних наукових конференцій, зокрема й особисто автором на PS-IWASOM'2017 (Гданськ, Польща), ICDIM'2016 (Ліон, Франція), LUMDETR'2015 (Тарту, Естонія).

Особистий внесок здобувача. Автор у дисертації і авторефераті досить чітко окреслив свою особисту участь у отриманні результатів, що склали основу його роботи. Зокрема, автору належать обґрунтування актуальності, вибір мети і визначення завдань роботи. У публікаціях, що складають основу дисертації, автору належить проведення переважної більшості експериментів, опрацювання

та інтерпретація отриманих результатів, підготовка матеріалів до публікації. Слід зауважити, що більшість текстів спільних публікацій підготовлені автором особисто, а він вказаний як відповідальний автор.

Зауваження.

Дисертація Лучечка А.П., як будь яка велика обсягом робота, не позбавлена недоліків. Зокрема:

1. Для дослідження термостимульованої провідності використовувались індієві електроди, однак, згідно літературних даних, метал індію не визнаний таким, що забезпечує найкращий омічний контакт з $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$. Тому автору слід пояснити, як отримувались добре омічні контакти.
2. Доцільно було б чіткіше акцентувати увагу на тому, яким чином визначалась кількість максимумів ТСЛ у випадку складної форми ТСЛ, для результатів отриманих у розділах 3 та 4, оскільки їхня кількість та положення визначають число центрів захоплення, також глибину залягання рівнів в забороненій зоні матеріалів, відповідно. Останні ж беруть участь у механізмах рекомбінаційного свічення.
3. При вивченні закономірностей люмінесценції та процесів перенесення енергії збудження в полікристалах MgGa_2O_4 та ZnGa_2O_4 співлегованих іонами Eu^{3+} та Mn^{2+} , концентрація європію змінювалась, а марганцю залишалась сталою. В роботі не вказано, чому для досліджень була обрана концентрація $\text{Mn}^{2+} \sim 0,05\%$. Зокрема, при незмінній концентрації європію та варіації вмісту марганцю, наприклад у межах 0...1,0 мол.%, також можна керувати кольором свічення цих матеріалів!
4. У шостому розділі дисертації, термостимульовані процеси в галатах магнію та цинку розглядаються залежно від часу опромінення зразків X-променями. Потребує пояснення те, яким чином автор здійснював оцінку дози для часу опромінення 20 хв.

Зроблені зауваження не впливають на високу оцінку отриманих в роботі результатів. Дисертація А.П. Лучечка виконана на високому науковому рівні, містить велику кількість нових результатів, які значно розширяють уявлення

про фото- та термостимульовані процеси в оксидних матеріалах на основі галію та алюмінію.

Автореферат дисертації повністю відображає основний зміст дисертаційної роботи. Об'єм та оформлення дисертації та автореферату, в цілому, відповідають вимогам. Основні висновки сформульовано із результатів, які наведено у розділах роботи.

Загальний висновок. На підставі викладеного вище вважаю, що дисертаційна робота Лучечка Андрія Петровича «Нерівноважні електронні фото- та термостимульовані процеси в оксидних матеріалах функціональної електроніки на основі галію та алюмінію» є завершеним науковим дослідженням, яке, за сукупністю та новизною отриманих результатів, повністю відповідає вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук, затвердженим Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», а її автор заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.10 - фізика напівпровідників і діелектриків.

Офіційний опонент,
доктор фізико-математичних наук,
професор, перший проректор
Державного вищого навчального закладу
«Ужгородський національний університет»

Сливка О.Г.

Підпис Сливки Олександра Георгійовича засвідчує

Учений секретар Державного вищого
навчального закладу
«Ужгородський національний університет»



Мельник О.О.