

ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертаційну роботу Рудика Юрія Васильовича
“Оптико-спектральні, електричні та теплопровідні властивості
наноструктурованих матеріалів на основі оксиду цинку”, представлену до
захисту на здобуття наукового ступеня кандидата фізики-математичних
наук зі спеціальності 01.04.10 – фізики напівпровідників та діелектриків

Актуальність цієї дисертаційної роботи обумовлена насамперед широкими можливостями використання матеріалів на основі оксиду цинку у пристроях функціональної оптоелектроніки, лазерній техніці, альтернативній енергетиці тощо. Зокрема, провідні лабораторії у різних країнах світу активно вивчають можливість застосування оксиду цинку для створення УФ-випромінювачів (світлодіодів і лазерів), газових сенсорів, прозорої електроніки, пристрій на поверхневих акустичних хвильях, УФ-фільтрів, фотодіодів, п'єзогенераторів, сонячних батарей тощо.

В численних дослідженнях напівпровідникових систем виявлено, що пониження їхньої розмірності приводить до кардинальної зміни електричних, механічних, хімічних і оптичних властивостей матеріалу, переважно, як вважають, внаслідок поверхневих і квантових розмірних ефектів. Високі експлуатаційні та технічні характеристики наносистем на основі ZnO привертають до себе величезну увагу науковців та спеціалістів в галузях електроніки, оптики та фотоніки. Ключовим матеріалом нанотехнологій та наноелектроніки оксид цинку роблять його багатофункціональність і надзвичайна різноманітність морфологій росту. Центральне місце в дисертаційній роботі посідають дослідження оптико-спектральних, теплопровідних, електрофізичних і абсорбційних властивостей наноструктурованих матеріалів на основі ZnO, а також вивчення особливостей їхньої структури, морфології поверхні та поверхневих ефектів. При цьому, очевидним є їхнє чітке прикладне спрямування.

Тому вважаю, що дисертаційна робота Рудика Ю. В. є актуальною як в науковому, так і в прикладному плані. Підтвердженням актуальності є чимале число науково-дослідних робіт, що виконувались на кафедрі фізики твердого тіла, у Науково-технічному і навчальному центрі низькотемпературних досліджень та Науково-навчальному центрі “Фрактал” Львівського національного університету імені Івана Франка, за якими автор працював як виконавець, і результати виконання яких, в значній мірі, відображені у його дисертаційній роботі.

Загальна характеристика роботи та основні результати. У дисертаційній роботі досліджено особливості структури і морфологію поверхні наноструктурованих матеріалів на основі ZnO, а також процеси рекомбінації і передачі енергії, розмірні ефекти, що безпосередньо впливають на характеристики пристрій, прототипи яких були продемонстровані у цій роботі.

Дисертація містить вступ, шість розділів, висновки, список літератури з 155 джерел та два додатки.

Перший розділ носить оглядовий характер, і присвячений висвітленню літературних відомостей про структуру, фізичні властивості та технології отримання об'єктів дослідження, а також аналізу характеристик прототипів оптоелектронних та сенсорних пристройів, створених на основіnanoструктур оксиду цинку. Особлива увага приділена оптико-спектральним властивостям оксиду цинку, зокрема аналізу досліджень спектрів електролюмінесценції та випадкової лазерної генерації у цьому матеріалі.

У другому розділі описані технології отримання експериментальних зразків, а також методики експериментального дослідження особливостей їхньої структури та морфології поверхні, найважливіших фізичних властивостей.

Третій розділ присвячений дослідженню тепlopровідності мікро- і нанокомпозитів на основі оксиду цинку. Доволі детально описані особливості структури та методики визначення коефіцієнтів тепlopровідності таких матеріалів. На основі отриманих даних проведено аналіз механізмів тепlopровідності.

У четвертому розділі наведені результати дослідження оптико-спектральних характеристик nanoструктур на основі оксиду цинку, зокрема фотолюмінесценції. Проведено ідентифікацію спектрів люмінесценції отриманих матеріалів в ультрафіолетовій та видимій області. Досліджено вплив вакуумування на фотолюмінесценцію і загасання фотовідгуку різних типів nanoструктур на основі ZnO.

П'ятий розділ присвячений створенню та виченняю властивостей прототипів світловипромінювальних пристройів. Важливо зауважити, що результати досліджень характеристик світлодіодів підтверджують наявність у них гомопереходу. У цьому ж розділі досліджено явище випадкової лазерної генерації на масивах мікропризм та нанодротів ZnO. Зроблено висновки про зміну природи лазерної генерації залежно від методу отримання nanoструктурзованих систем.

Шостий розділ містить опис розробок чутливих елементів резистивних сенсорів на основі nanoструктур ZnO. Крім цього описано результати дослідження абсорбційних властивостей мікро- і nanoструктур оксиду цинку і насамперед переходів від супергідрофобного до супергідрофільного стану у таких матеріалах.

Результати та висновки дисертації є достатньо **обґрунтованими**. Це зумовлено різносторонністю проведених досліджень, а також різноманітністю використаних методик і підходів. У формулюванні основних результатів та висновків автор не задовільняється тільки константацією експериментальних результатів, але получає відповідну кількісну, або ж принаймі, якісну інтерпретацію виявлених ефектів. **Достовірність** результатів дисертації забезпечена використанням сучасних експериментальних методик і теоретичних підходів, надійної сучасної вимірювальної апаратури, порівнянням

даних автора з відповідними теоретичними і експериментальними результатами інших науковців.

Наукова новизна та цінність дисертації Рудика Ю.В полягає в тому, що у ній вперше:

1. Запропоновано конкретні рекомендації щодо створення ефективної термопасті на основі нанопорошку ZnO.
2. Досліджено вплив вакуумування на параметри фотолюмінесценції і загасання фотовідгуку нанодротів та наностержнів ZnO без будь-якої переважаючої орієнтації та обґрунтовано можливість застосування таких структур в детекторах ультрафіолетового випромінювання.
3. Продемонстровано можливість створення світлодіода на основі гомопереходу в невпорядкованих структурах на основі оксиді цинку, отриманих шляхом електроосадження.
4. Реалізовано випадкову лазерну генерацію в області 388 нм у новому типі матеріалів — масиві мікропризм ZnO, вирощених з парової фази.

Заслуговує на увагу і **практична цінність** дисертаційної роботи, зокрема:

1. Запропоновано технології отримання наноструктур оксиду цинку із заданими розмірами і формою елементів (нанооктаподи, наностержні, нанодроти, мікропризми) з досить хорошою відтворюваністю.
2. Синтезовано наноструктури ZnO з *p*-типу провідності, які можуть бути застосовані як в резистивних хімічних сенсорах, так і в світлодіодах.
3. Запропоновано при виготовленні термопаст замість мікрокомпозитів використовувати нанокомпозити на основі ZnO з розміром частинок приблизно 3 нм, що забезпечує істотне підвищення величини коефіцієнта теплопровідності внаслідок прояву квантового розмірного ефекту.
4. Створено світлодіоди на основі наноструктур оксиду цинку, які випромінюють біле світло.

Результати роботи можна рекомендувати для використання в Ужгородському національному університеті, НВП “Карат” (м. Львів), Інституті фізики НАН України (м. Київ), Львівському національному університеті імені Івана Франка, Інституті фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова НАН України (м. Київ) при отриманні і дослідженні тонкоплівкових, наноструктурованих і нанокомпозитних оксидних матеріалів.

Дисертаційна робота пройшла хорошу **апробацію** на вітчизняних і міжнародних наукових конференціях та семінарах. Основний зміст дисертації викладено в 6 наукових статтях, опублікованих у провідних фахових журналах (“Optical Materials”, “Journal of Nano- and Electronic Physics”, “Physical Surface Engineering”, “Journal of Surface Physics and Engineering”, “Phys. Status Solidi”), 8 тезах і матеріалах конференцій та 1 патенті на корисну модель. Опубліковані праці в повній мірі відображають матеріал дисертації.

Робота написана грамотно і добре оформлена. Текст дисертації добре проілюстрований графічним матеріалом. **Автореферат** цілковито відповідає змістові дисертації й у лаконічній формі відображає усі найважливіші результати, положення та висновки роботи.

Оцінюючи дисертаційну роботу загалом позитивно, слід відзначити і окремі її недоліки. У зв'язку з цим можна сформулювати такі *зауваження*:

1. У дисертації продемонстровано можливість реалізації лазерної генерації на масивах нанодротів і мікропризм ZnO, однак аналіз виявлених ефектів видається занадто лаконічним. Неабияке практичне значення мали б рекомендації щодо можливості оптимізації технології отримання таких систем, які б дали змогу цілеспрямовано впливати на їхні характеристики, зокрема, понизити поріг нагнітання, варіювати довжину хвилі генерації тощо.
2. Викликає також запитання, чому у роботі вирішується задача розробки УФ фільтра саме на основі тонких плівок оксиду цинку? Чому з цією метою не використати, наприклад, скло?

Наведені зауваження, однак, не ставлять під сумнів основні результати та висновки дисертаційної роботи і тому не знижують її загальної високої оцінки.

Дисертаційна робота Рудика Ю.В. є завершеним науковим дослідженням, що забезпечує розв'язання наукової проблеми у галузі фізики напівпровідників і діелектриків – встановлені впливу розмірних ефектів і технологічних умов отримання та обробки зразків на оптико-спектральні, абсорбційні, тепlopровідні та електрофізичні параметри тонкоплівкових і наноструктурованих матеріалів на основі оксиду цинку.

На основі сказаного вище, можна зробити висновок, що дисертаційна робота **“Оптико-спектральні, електричні та тепlopровідні властивості наноструктурованих матеріалів на основі оксиду цинку”** за актуальністю, обсягом виконаних досліджень, науковим рівнем, новизною та практичним значенням, а також публікацією і апробацією основних результатів цілком задовольняє вимоги атестаційної колегії МОН України, що ставляється до кандидатських дисертацій, а її автор, Рудик Юрій Васильович, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.10 – фізики напівпровідників і діелектриків.

Офіційний опонент, доктор фіз.-мат. наук,
професор, завідувач кафедри фізики та
інженерної механіки, Львівського
національного аграрного університету



C. В. Мягкота

Підпис Степана Васильовича Мягкоти заасвідчує:

Вчений секретар ЛНАУ, к. е.



I. M. Лаврів

