

ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертацію **Лучечка Андрія Петровича**
“Нерівноважні електронні фото- та термостимульовані процеси в оксидних матеріалах функціональної електроніки на основі галію та алюмінію”,
яку представлено на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.10 - фізики напівпровідників і діелектриків.

Люмінесцентні характеристики оксидних сполук значною мірою визначаються наявністю мілких та глибоких рівнів захоплення та центрів рекомбінації. Носії заряду з таких рівнів можуть бути вивільнені термічно та/або оптично, спричинивши появу світлового випромінювання, відомого як термо- чи оптично-стимульована люмінесценція. Незважаючи на значну кількість робіт присвячених дослідженню активованих оксидів на основі галію та алюмінію, природа рекомбінаційної люмінесценції та механізми термоактиваційних процесів в цих матеріалах вивчені недостатньо. Крім того, розуміння згаданих процесів є важливим для практичного застосування цих функціональних матеріалів: в лазерах, люмінесцентних конверторах світла, сцинтиляторах, накопичувальних дозиметрах тощо.

Дисертаційну роботу А.П. Лучечка “Нерівноважні електронні foto- та термостимульовані процеси в оксидних матеріалах функціональної електроніки на основі галію та алюмінію” присвячено дослідженням зв’язку foto-, оптично- та термолюмінесцентних характеристик оксидів на основі галію та алюмінію з дефектами їх структури, зокрема, викликаними іонами активаторів.

Ця робота виконувалася відповідно до завдань низки державних та міжнародних наукових програм, що є додатковим свідченням **актуальності** її тематики. (Див., наприклад,: “Закономірності термо- і фотостимульованих процесів в монокристалах, полікристалах та нанокераміках складних оксидів” (0109U002083, 2009 – 2011); “Дослідження спектрально-люмінесцентних та кінетичних характеристик складних оксидів зі структурою граната” (0113U000874, 2013 – 2015); “Розроблення зчитувача для індивідуальної пасивної ОСЛ дозиметрії іонізуючого випромінювання на основі кристалів YAP:Mn²⁺” (0117U004443, 2017 – 2018); “Фізичні процеси у матеріалах сенсорики на основі оксидів та халькогенідів, активованих рідкісноземельними елементами” (0118U003612, 2018 – 2020) тощо).

Результатом проведених автором комплексних досліджень є важливі

наукові результати, які, безперечно, роблять вагомий внесок у розуміння фізичних процесів, що відбуваються в легованих оксидах на основі галію (β - Ga_2O_3 , $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$, $\text{Mg}(\text{Zn})\text{Ga}_2\text{O}_4$, $\text{Lu}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$) та алюмінію ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, YAlO_3) при їх збудженні світлом та іонізуючим випромінюванням. Важливим, з наукового погляду, аспектом роботи є те, що на основі системних різнопланових досліджень з'ясовано закономірності захоплення та рекомбінації носіїв заряду в згаданих оксидних матеріалах.

Новизна наукових положень та висновків.

Вдалий вибір об'єктів та методик дослідження, логічність сформульованих завдань та правильне їх вирішення дозволили авторові отримати ряд нових наукових результатів, серед яких, на мою думку, слід зазначити такі:

1. Розраховані значення: ефективної енергії фононів, з якими взаємодіють електронно-коливальні переходи; величини розщеплення метастабільного рівня ^2E ; енергетичної відстані між верхнім підрівнем рівня ^2E та рівнем $^4\text{T}_2$ для іонів Cr^{3+} в монокристалах β - Ga_2O_3 : Cr^{3+} .
2. Модель локальних рівнів у забороненій зоні оксиду галію (β - Ga_2O_3), в якій мілкі донорні рівні пов'язано з іонами міжузлового галію, а кисневі вакансії, як основні точкові дефекти, створюють глибокі рівні.
3. Факт формування іонами Cr^{3+} центрів випромінювання двох типів в полікристалах $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$, та лише одного типу центрів - в монокристалічних плівках $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}:\text{Cr}^{3+}$.
4. Запропонований механізм температурного загасання люмінесценції іонів ітербію в монокристалічних плівках $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Yb}$ і пропозиція щодо ролі термічної делокалізації електронів з асоціатів ($\text{Yb}^{2+}\text{-F}^-$) при температурах вищих за 160 К.
5. Механізми, що обумовлюють характеристики часово-роздільної ОСЛ полікристалів $\text{MgGa}_2\text{O}_4:\text{Mn}^{2+}$ та $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Mn}^{2+}$.

Результати дисертаційного дослідження виявили закономірності процесів електрон-діркової рекомбінації, що відбуваються за участю структурних дефектів і домішок, і дають підставу вважати їх спільними для широкого класу оксидів на основі галію та алюмінію.

Результати дисертаційної роботи мають важливе **практичне значення**. Зокрема, вони можуть бути використані для створення люмінофорів на основі легованих марганцем і европієм галатів магнію та цинку. Перспективним матеріалом для реєстрації УФ випромінювання є нелеговані монокристали β - Ga_2O_3 ; а такі кристали, леговані іонами Cr^{3+} , можна використовувати в

безконтактній люмінесцентній термометрії. Монокристали $YAlO_3$: Mn^{2+} є придатними для використання в ОСЛ дозиметрії в широкому діапазоні поглинених доз радіації.

Достовірність і обґрунтованість наукових положень та висновків забезпечені використанням комплексу взаємодоповнюючих експериментальних методик, використанням апробованих теоретичних підходів, відтворюваністю результатів та їхнім узгодженням як між собою, так і з результатами інших авторів. Для досліджень застосувалося сучасне обладнання вітчизняних та міжнародних наукових лабораторій.

Наукова новизна результатів і висновків є гарно експериментально і теоретично обґрунтованою.

Повнота викладу результатів в опублікованих наукових працях та апробація роботи.

Основні положення та результати дисертаційного дослідження повною мірою викладено в 76 наукових працях та апробовано на численних наукових конференціях. Серед публікацій: 34 статті у наукових міжнародних журналах та фахових виданнях України (з них 30 включено до міжнародних наукометрических баз даних Web of Science та/або Scopus), 4 статті у матеріалах конференцій, які індексуються наукометричними базами даних, 37 публікацій у вигляді тез доповідей та матеріалів міжнародних і всеукраїнських наукових конференцій.

Разом із тим, деякі підходи, описи результатів, трактування даних дослідження, на мою думку, є зайвими, неточними, або ж є недостатньо обґрунтованими. Зокрема,

1. Без параграфу «1.4.3 Особливості використання методики ОСЛ», взагалі, можна було би, обйтися.
2. В п. 3.1. «Спектроскопія іонів Cr^{3+} в кристалах $\beta-Ga_2O_3$ » автор використовує для опису температурної залежності положення та напівширини R – ліній одноосциляторну модель при енергії осцилятора 0,023 eВ – для опису зсуву та 40 мeВ – для опису напівширини. Це некоректно, адже ж, саме можливість опису залежності різних характеристик з використанням одного й того ж значення енергії осцилятора є свідченням можливості використання наближення одноосциляторної моделі.
3. Не знайшла задовільного пояснення причина зростання інтенсивності свічення іонів мангану в галаті магнію при зростанні вмісту іонів європію, а це, на мою думку, є важливим моментом в розумінні люмінесцентних процесів в таких складних системах.

4. В роботі багато уваги приділено системам із домішковими іонами Cr^{3+} . Тому, вважаю, що, побудована на основі експериментальних даних, в реальному масштабі, зведена схема рівнів іонів Cr^{2+} , Cr^{4+} та діаграма Танабе - Сугано для іонів Cr^{3+} дозволила би автору краще пояснити суть розглянутих механізмів збудження, теплового та часового загасання люмінесценції, а читачеві – полегшила би їх розуміння.
5. Для мене залишилося під питанням: «На думку автора, іони Bi^{3+} , що неконтрольованим чином входять до решітки епітаксійних плівок $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, відіграють позитивну, чи негативну роль в люмінесцентних процесах?»
6. Незадовільним є аналіз спектрів (кривих) стимуляції ОСЛ. Зокрема, виникає питання щодо причини подібності цих кривих спектрам збудження фотолюмінесценції (див. Рис. 6.23, 6.24 та відповідний текст).

Серед стилістичних помилок, нечітких («жаргонних») висловлювань можна, для прикладу, навести такі:

1. В п. 3.1. «*Спектроскопія іонів Cr^{3+} в кристалах $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$* » автор пише: «...сильною електрон-фононною взаємодією електронних рівнів домішкового іона Cr^{3+} із коливаннями кристалічної тратки. Сила цієї взаємодії буде визначатися заселеністю фононних рівнів:...».
- Це помилкове твердження. Ступінь-електрон-фононної взаємодії в центрах поглинання і люмінесценції визначається величиною стоксових втрат на нормальні (локальні та фонони) коливання решітки (фактор Хуана – Pica). При цьому, слід зазначити, що автор правильно використовує формули, які описують тепловий зсув та розширення безфононних ліній.
2. В п. 1.1.3 читаємо: «*Кatalітична активність Ga_2O_3 пояснюється унікальними структурними характеристиками катіонів Ga^{3+} .*»
3. В п. 4.4 бачимо: «*Відомо, що термічна стійкість електронів визначається...*»

Зазначені зауваження не є принциповими і, жодним чином, не знижують наукову та практичну цінність результатів та висновків дисертаційної роботи.

Дисертація є логічно структурованою; її оформлено згідно вимог. Стиль і мова роботи відповідають стандартам наукових публікацій. Автореферат і опубліковані наукові праці належно мірою відображають зміст та основні положення дисертації.

Висновки щодо відповідності дисертації встановленим вимогам

Дисертація Лучечка Андрія Петровича є завершеним науковим дослідженням. Висновки роботи повністю відображають основні положення, які виносяться на захист.

Враховуючи актуальність теми, наукову новизну і практичну цінність роботи, повноту викладення отриманих результатів у наукових публікаціях високого рівня, вважаю, що дисертація **Андрія Петровича Лучечка** «**Нерівноважні електронні фото- та термостимульовані процеси в оксидних матеріалах функціональної електроніки на основі галію та алюмінію**», є завершеною науковою працею, що повністю відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року №567 (зі змінами) до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук, а її автор – **Андрій Петрович Лучечко**, безумовно заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.10 - фізики напівпровідників і діелектриків.

Офіційний опонент,
доктор фізико-математичних наук,
завідувач науково-дослідної лабораторії
«Спектроскопія конденсованого стану речовини»
фізичного факультету
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка

С.Г. Неділько

Підпис Сергія Герасимовича Неділька засвідчує:

Вчений секретар
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка



Н.В. Кауальна

С.Г.Неві