

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Алексеєва Вадима Дмитровича „Особливості процесу переносу енергії в радіаційно забарвлених кристалах CsI-Tl”, подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.10 – фізика напівпровідників і діелектриків

Актуальність досліджень. Чисті та активовані кристали CsI відомі своїм практичним застосуванням як сцинтиляційного матеріалу та одночасно як об'єкт фундаментальних досліджень сцинтиляційних процесів у діелектричних матеріалах. Кристали CsI виявляють екситоноподібну люмінесценцію, яка забезпечує використання цих кристалів як швидких сцинтиляторів у різноманітних експериментах у галузі фізики високих енергій. Природа цього свічення дискутується ще по сьогодні. Для цих же кристалів властива надшвидка внутрішньо зонна люмінесценція. Широке практичне застосування як спектрометричного сцинтилятора демонструють кристали CsI-Tl. Крім того, вони стали модельними для пояснення механізму свічення галоїдних сцинтиляторів активованих талієм через введення поняття екситона локалізованого біля талію. Ця концепція є визначальною для пояснення люмінесцентних властивостей галоїдних сцинтиляторів активованих іонами ртутеподібних центрів у випадку високоенергетичного збудження. Інша проблема, яка вимагає свого розв'язання пов'язана з впливом високоенергетичного збудження на сцинтиляційні параметри та радіаційну стійкість кристалів. Якщо у випадку чистих кристалів радіаційні механізми пов'язані із виникненням комплементарних пар типу дефектів Френкеля, то у випадку активованих кристалів картина дефектів значно ускладнюється участю у цих процесах домішкових центрів, що приводить до їхнього урізноманітнення та температурної стабілізації електронних та діркових радіаційних дефектів. З'ясування механізмів дефектоутворення, впливу радіаційних дефектів на сцинтиляційні параметри є важливим з огляду перспектив використання сцинтиляторів CsI-Tl в експериментах з великим радіаційним навантаженням.

Потреба створення нових функціональних матеріалів вимагає глибокого розуміння процесів, що відбуваються у твердому тілі. Власне ця практична вимога і визначає актуальність досліджень проведених у дисертаційній роботі щодо аналізу впливу радіаційного опромінення на дефектоутворення та сцинтиляційні параметри. Особливо важливими є спроби модифікації сцинтиляційних параметрів кристалів без суттєвої зміни технологічних процесів їхнього отримання.

Про актуальність дисертації свідчить також те, що дослідження проводилися відповідно до планів науково-дослідних робіт Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України в рамках низки держбюджетних тем.

Обґрунтованість та достовірність результатів. Низка згадуваних проблем аналізується у дисертаційній роботі із застосуванням сучасних експериментальних підходів. Зокрема з використанням люмінесцентних та абсорбційних методик за умови стаціонарного та імпульсного режимів збудження. Автор застосовує інші методи (катодолюмінесценція, фотопровідність), які дозволяють додатково з'ясувати деталі механізмів перенесення заряду. Такі зовнішні впливи як пластична деформація, термічна та оптична обробка дозволяють моделювати вплив радіаційного опромінення на CsI-Tl. Використання згаданих методик не викликає сумніву щодо достовірності отриманих результатів і лежить в основі аналізу та обґрунтування висновків. Саме кваліфіковане використання сучасного експериментального обладнання та відомих фізичних моделей радіаційної фізики визначає обґрунтованість та достовірність отриманих у роботі результатів.

Результати, викладені в дисертації, у достатній мірі апробовані на наукових конференціях різного рівня. Основні її положення опубліковані у 27 наукових працях, серед яких 12 статей - у фахових журналах. Опубліковані праці в повній мірі відображають матеріал дисертації.

Новизна наукових положень та висновків.

Автор вперше підійшов до складної проблеми інтерпретації сцинтиляційних процесів у радіаційно-забарвлених кристалах CsI-Tl. Рекомбінаційна та домішкова люмінесценція таких систем вивчена слабо та потребує подальших досліджень. Серед важливих наукових результатів, одержаних вперше за підсумками роботи, слід відзначити такі.

1. Важливим є висновок щодо природи радіаційних дефектів, що наводяться в CsI-Tl. Зокрема, автор, зважаючи на особливості появи радіаційних дефектів, залежно від попередньої обробки зразків, температури зразків при опроміненні, температури знебарвлення, динаміки інтенсивності смуг поглинання від часу опромінення світлом співвідносить спостережувані радіаційні дефекти до дипольних комплексів на основі Tl^0 центрів поряд з аніонною вакансією та Tl^{2+} центр в околі катіонної вакансії та вводить $Tl^0v_a^+$ та $Tl^{2+}v_c^-$ домішково-вакансійні комплекси. Це твердження є одним із основних в цій роботі, оскільки, саме на ньому базується подальше пояснення

особливостей люмінесценції та форми сцинтиляційного імпульса в опромінених кристалах CsI-Tl.

2. Заслуговує уваги інтерпретація автора щодо ролі карбонатних іонів CO_3^{2-} в утворенні радіаційних ефектів. Опромінення кристалів з карбонатними іонами, що входять у ґратку як $[\text{CO}_3^{2-}-\text{v}_a^+]$ комплекси сприяє утворенню додаткових аніонних вакансій, що в свою чергу приводить до збільшення іншого типу радіаційних дефектів - Tl^0v_a^+ -комплексів.

3. Виявляють значний інтерес результати автора щодо спостереження фотопровідності кристалів кристалах CsI-Tl із значною концентрацією іонів талію. Запропонована модель серйозна спроба пояснення фотопровідності в кристалах CsI-Tl. Особливість цієї моделі - пояснення наявності провідності при енергіях квантів менших за ширину забороненої зони як результат перенесення заряду від іонів йоду до іонів талію. Автор відмовляється від можливості появи фотопровідності через перепоглинання із збуджених станів Tl^+ -центрів і віддає перевагу появі носіїв заряду внаслідок переходу з перенесенням заряду з подальшим виникненням Tl^0 -центрів.

4. Запропонована автором модель радіаційних дефектів як активаторних центрів біля вакансій дозволяє розглядати люмінесценцію опромінених кристалів як таку, що зумовлена люмінесценцією екситонів локалізованих біля дефектів. У випадку збудження у смугі поглинання $\text{Tl}^{2+}\text{v}_c^-$ центрів утворюється екситон біля комплексу Tl^+v_c^- дефектного комплексу. Відповідно смуги, що спостерігаються, приписують переходам із синглетних та триплетних станів локалізованого екситона. Така інтерпретація є логічною, оскільки, модель свічення локалізованих екситонів є загально визнаною при інтерпретації люмінесценції неопромінених CsI-Tl кристалів.

5. Надзвичайно важливі висновки зроблені автором щодо впливу радіаційних дефектів на світловихід CsI-Tl кристалів та форму їхнього сцинтиляційного імпульса. Втрати світлого відгуку через перепоглинання Tl^0v_a^+ - центрами компенсуються випромінюванням $\text{Tl}^{2+}\text{v}_c^-$ - центрами так, що сцинтиляційний світловихід залишається незмінним. Однак при цьому дещо розширюється сцинтиляційний імпульс через інші часові параметри люмінесценції екситона локалізованого біля $\text{Tl}^{2+}\text{v}_c^-$.

Можу констатувати, що дисертаційна робота містить важливі наукові висновки щодо впливу радіаційного опромінення на сцинтиляційні параметри кристалів CsI-Tl та перенесення зарядів та енергії збудження в радіаційно-зabarвлених кристалах

Практичне значення. Отримані у роботі результати та висновки мають важливе практичне значення, оскільки вони дозволяють модифікувати властивості сцинтиляційних матеріалів без суттєвої зміни технологічних

процесів. Висновок щодо збереження конверсійної ефективності та незначного спотворення сцинтиляційного імпульса радіаційно забарвлених кристалів CsI-Tl відкриває перспективу застосування кристалів у випадку значних радіаційних навантажень.

Маю також **певні коментарі**, які не впливають на якісні оцінки результатів роботи, зокрема на виявлені тенденції, а радше на уточнення перебігу цих процесів. На мою думку, вони такі.

1. Відносно механізму провідності при збудженні квантами малої енергії. Інтерпретація базується на перенесенні заряду від іона йоду (I⁻) до іона талію (Tl⁺). Однак енергія переходу з перенесенням заряду в неопромінених кристалах складає 4.5 eV (275 нм). Енергії квантів (~3.5 eV, 337 нм) у Ваших експериментах недостатньо для згаданого переходу з перенесенням заряду. Можливо, присутність вакансій впливає на розташування рівнів Tl⁰ відносно зони провідності та сприяє такому переходу?

Якщо у провідності не задіяна зона провідності, то яким чином відбувається перенесення заряду по іонах Tl⁰, які просторово розділені між собою?

2. Розглядаючи екситонний механізм люмінесценції за участю Tl²⁺v_c⁻ центрів бажано прокоментувати механізм виникнення його діркової складової при енергіях збудження, що значно менші ширини забороненої зони.

3. У тексті дисертації й автореферату трапляються помилки набору та деякі неточності.

Указані мною зауваження не знижують у цілому позитивного враження від дисертації Алексєєва В.Д. і не применшують цінності отриманих наукових результатів, а є радше стимулом для подальшого з'ясування механізмів перенесення енергії в радіаційно-забарвлених кристалах CsI-Tl.

Дисертаційна робота оформлена добре, результати дослідження висвітлено у повній мірі, логічно й послідовно. Автореферат повністю відповідає змісту дисертації.

Беручи до уваги актуальність теми дисертації та вирішуваних у ній задач, високий рівень виконаних досліджень, науково-практичну цінність отриманих результатів і сформульованих висновків щодо впливу радіаційних дефектів на сцинтиляційні параметри кристалів CsI-Tl, вважаю, що дисертаційна робота „Особливості процесу переносу енергії в радіаційно-забарвлених кристалах CsI-Tl ” відповідає вимогам п. 11 та п. 13 „Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого

наукового співробітника”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року №567, які висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор, Алексеев Вадим Дмитрович, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.10 – фізика напівпровідників і діелектриків.

05.12.2018

Офіційний опонент -
доктор фізико-математичних наук,
професор, завідувач кафедри
експериментальної фізики Львівського
національного університету імені Івана
Франка



Волошиновський А.С.

Підпис Волошиновського А.С. засвідчую
Вчений секретар Львівського національного
університету імені Івана Франка, доцент



Грабовецька О.С.