

Голові разової спеціалізованої вченої ради Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України, доктору фізико-математичних наук, завідувачу відділу Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України Тарасову Володимирі Олексійовичу

## ВІДГУК

Старшої наукової співробітниці відділу кристалічних матеріалів складних сполук Інституту монокристалів НАН України, кандидатки технічних наук,

Крижановської Олександри Сергіївни

на дисертацію Кофанова Дениса Олеговича

**«Отримання сцинтиляційних кристалів рідкісноземельних гранатів із розплаву у відновлювальному та інертному середовищах»,**

подану до захисту у разову спеціалізовану вчену раду Інституту сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України на здобуття

наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132

«Матеріалознавство» з галузі знань 13 «Механічна інженерія»

## **Актуальність обраної теми дисертації**

Широке використання детектувальних систем у багатьох галузях діяльності людини сприяє інтенсивному розвитку сцинтиляційного матеріалознавства. В галузі фізики високих енергій завдяки детекторам на основі сцинтиляційних кристалів вольфрамату свинцю було практично підтверджено існування бозона Хігса на великому адронному колайдері в ЦЕРНі.

На сьогоднішній день в ЦЕРНі розробляються нові типи високогранулярних детекторів з покращеною розділовою здатністю. Для створення такого типу детекторів необхідні сцинтиляційні елементи у вигляді волокон.

Монокристали гранатів рідкісноземельних елементів, активовані йонами церію, є досить ефективними сцинтиляторами, з високим світловим виходом, відносно короткими часами загасання люмінесценції, високою щільністю, негіроскопічні, радіаційно стійкі та реакційно стабільні. Гранати рідкісноземельних елементів, активовані церієм, розглядаються в якості основного матеріалу у вигляді монокристалічних волокон для наступного покоління детекторів. Кількість волокон, яка потрібна для створення детектору нового покоління є досить великою, отже вельми актуальною науково-технологічною задачею є розробка методів вирощування більш економічних, ніж існуючі.

Актуальність роботи полягає у розробці підходів до менш витратного вирощування монокристалів та створенні високоякісних за оптичними та сцинтиляційними властивостями монокристалів та монокристалічних волокон гранатів рідкісноземельних елементів, активованих йонами церію.

## **Загальна характеристика роботи**

Обсяг дисертаційної праці становить 127 сторінок та складається з анотації, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 91 найменування, додатків, 55 рисунків та 3 таблиць.

У **першому розділі** дисертаційної роботи наведений огляд літератури з питань за тематикою наукового доробку дисертанта. Розглядаються принципи роботи сцинтиляторів, нового типу детекторів, проведений огляд методів вирощування монокристалів та різних типів сцинтиляторів. Зроблені висновки щодо вибору сцинтиляційного матеріалу та методів їх отримання.

У **другому розділі** описані техніки, обладнання, оснащення, що використовувались під час наукового пошуку. Серед них метод синтезу початкової сировини, техніка для визначення температури розплаву, техніка вирощування монокристалів та монокристалічних волокон, техніка термічної обробки та виготовлення зразків оптичної якості, методи характеристики монокристалів.

У **третьому розділі** дисертаційного дослідження більш детально розглядаються метод мікровитягування монокристалів та волокон на основі GAGG:Ce та YAG:Ce. Методи поліпшення їх оптичних та сцинтиляційних характеристик, за рахунок стабілізації умов вирощування, содопування, термічної обробки.

У **четвертому розділі** дисертаційного дослідження розглядається вплив умов вирощування а також складу твердих розчинів на основі LuYAG на їх сцинтиляційні та оптичні властивості.

### **Значимість дослідження для науки і практики**

Наукова новизна отриманих результатів базується на ґрунтовних дослідженнях технологічних умов вирощування кристалів рідкісноземельних алюмінатів зі структурою гранату та впливу їх складу і на їх властивості:

- Показана можливість отримання методом мікро витягування довгих (більше 20 мм) волокон YAG:Ce з довжиною поглинання 38 см завдяки додаванню надлишку 120 ppm  $Al_2O_3$  над стехіометричним складом кристалу YAG. Також доведено, що термічна обробка при 1200 °C протягом 48 годин покращує довжину поглинання для волокон YAG:Ce, содопованих Mg. Зокрема,

відпалені волокна з 40 ppm Mg мали довжину поглинання 38,5 см та час загасання 80 нс.

- Розроблено пристрій, що дозволяє уникнути використання кристалічного зародку в умовах різного складу та температури плавлення розплавів кристалів твердих розчинів. Пристрій використовує капілярний ефект підйому розплаву і забезпечує надійне кріплення вирощуваного кристалу.

- Отримані кристали LuAG:Ce та LuYAG:Ce із довжиною циліндричної частини до 6 см та діаметром 18 мм з вольфрамових тиглів у відновлювальній атмосфері Ar+CO. Знайдено оптимальну концентрація активатору при отриманні кристалів LuAG:Ce, яка склала 1% Ce в розплаві.

- Отримані кристали LuAG:Ce після відпалу на повітрі при температурі 1300 °C протягом 48 годин мали світловий вихід 26500 фотонів/MeV. Світловий вихід отриманих кристалів  $(\text{Lu}_{0,25}\text{Y}_{0,75})_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$  оптимізованого складу відпалених на повітрі при температурі 1300 °C протягом 48 годин сягає 28 000 фотонів/MeV.

### **Практичне значення отриманих результатів**

Отримані результати мають велике практичне значення для медицини та фізики високих енергій, оскільки вирощені в роботі нові кристали значно розширюють асортимент сцинтиляційних матеріалів з високим світловим виходом і можуть бути використані у якості детектуючої середи у детекторах іонізуючих частинок.

В даній роботі був розроблений пристрій для затравлення з капіляром, а також метод затравлення з його використанням, які були захищені двома патентами на корисну модель №145280 «Спосіб вирощування монокристалів» від 25.11.2020 та №145281 «Пристрій для затравлення під час вирощування монокристалів» від 25.11.2020. Цей пристрій дозволяє не тільки вирощувати монокристали тигельними методами витягування без використання монокристалічної затравки, як було заявлено автором, але й уможливорює більш

широкі дослідження таких параметрів як змочування, поверхневий натяг високотемпературних розплавів тощо, що також має наукову і практичну цінність.

Метод вирощування монокристалів LuYAG:Ce з використанням вольфрамових тиглів, розроблений в даній роботі, може значно зменшити вартість отриманих кристалів.

### **Дискусійні положення та зауваження до дисертації:**

- Спираючись на попередні дослідження при вирощуванні кристалу  $Y_3Al_5O_{12}:Ce$  (YAG:Ce) автор обрав у якості йона-содопанта  $Mg^{2+}$ . Чи відомі інші йони-содопанти окрім іонів магнію, які могли б (навіть теоретично) покращити оптичні та сцинтиляційні властивості кристалу YAG:Ce?

- Автором було вирощено і досліджено низку сцинтиляційних кристалів твердих розчинів: YAG:Ce,  $Y_3Al_5O_{12}:Ce,Mg$  (YAG:Ce,Mg),  $Gd_3(Al_xGa_{1-x})_5O_{12}$  (GAGG),  $(Lu_xY_{1-x})_3Al_5O_{12}:Ce$  (LuYAG:Ce). Чи спостерігав автор зв'язок між відхиленням світлового виходу від закону Веґарда та співвідношенням об'ємів, зайнятих заміщеними атомами, в рамках підходу до пошуку нових кристалічних сцинтиляційних матеріалів, про який згадується у першому розділі дисертації?

До зауважень слід віднести наступне:

- В тексті дисертації відсутні в явному вигляді порівняння функціональних характеристик матеріалів, що були отримані в даній роботі, з характеристиками аналогів, які наводяться в літературних джерелах, присутні лише поодинокі згадування матеріалів з рекордними світловими виходами.

- В тексті зустрічаються некоректні вирази, такі як «посилення градієнту», «погіршення довжини поглинання», «покращення часу загасання».

- В Таблиці 3.1, невірно вказаний параметр співвідношення довжини волокна і довжини прозорої частини.

- На стор. 44 і 85 присутні некоректні посилання на рисунки 1.5 і 3.16 відповідно.

Вище наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи. Дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні, всі поставлені в ній завдання були виконані в повному обсязі. За результатами роботи опубліковано 3 наукові статті, 2 патента на корисну модель, зроблено 5 доповідей на міжнародних конференціях. Результати отримані в роботі є важливими як для скінтіляційного матеріалознавства так і для галузі вирощування монокристалів із розплаву загалом. Дисертаційна робота Кофанова Д.О. відповідає вимогам необхідним для присудження ступеня доктора філософії.

### **Відсутність порушень академічної доброчесності**

У дисертації та наукових публікаціях Кофанова Дениса Олеговича відсутні порушення академічної доброчесності.

### **Загальний висновок та оцінка дисертації**

Вважаю, що за актуальністю, новизною, рівнем і достовірністю отриманих наукових результатів дисертація Кофанова Дениса Олеговича «Отримання скінтіляційних кристалів рідкісноземельних гранатів із розплаву у відновлювальному та інертному середовищах» повністю відповідає всім вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор, Кофанов Денис Олегович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 Матеріалознавство в галузі знань 13 Механічна інженерія.

**Опонент:**



Олександра КРИЖАНОВСЬКА