

Голові разової спеціалізованої вченої  
ради Інституту скінтіляційних  
матеріалів Національної академії наук  
України,  
Доктору фізико-математичних наук  
Тарасову Володимиру Олексійовичу

## **ВІДГУК**

**Рецензента, докторат хімічних наук, професора завідувача лабораторії  
синтезу скінтіляційних матеріалів Інституту скінтіляційних матеріалів  
НАН України**

**Чергинця Віктора Леонідовича**

на дисертаційну роботу

**Кофанова Дениса Олеговича**

«Отримання скінтіляційних кристалів рідкісноземельних гранатів із розплаву у відновлювальному та інертному середовищах», подану до захисту у разову спеціалізовану вчену раду Інституту скінтіляційних матеріалів Національної академії наук України на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 Матеріалознавство галузі знань 13 Механічна інженерія

### **Актуальність обраної теми дисертації.**

Актуальність теми дисертаційної роботи обумовлена необхідністю пошуку нових скінтіляційних матеріалів для використання у сучасних і майбутніх експериментах з фізики високих енергій.

Надзвичайно перспективними реєструючими матеріалами вважаються гранулярні детектори, основною складовою яких є монокристалічні скінтіляційні волокна, вимоги до яких є дуже жорсткими: довжина не менше 20 см, високий світловий вихід, довжина поглинання. Розробка таких волокон почалась не дуже давно і останнім часом не дала задовільних результатів. Тому удосконалення існуючих матеріалів для скінтіляційних волокон за рахунок модернізації устаткування, здешевлення їх собівартості є актуальною задачею сучасного скінтіляційного матеріалознавства. Безперечно пошук та розробка нових скінтіляторів з покращеними функціональними характеристиками для використання у гранулярних детекторах також має високу актуальність. Додатковим аргументом щодо актуальності роботи є літературний огляд, у якому з 64 джерел 50 відносяться до нинішнього століття.

Робота виконувалась в Інституті скінтіляційних матеріалів НАН України у співробітництві з Інститутом світла та матерії (Ліон, Франція) та CERN.

Роботу виконано в рамках теми відомчого замовлення НАН України, проєкту програми «Горизонт-20», проєкту CNRS, та проєкту програми україно-французького співробітництва «Дніпро».

### **Загальна характеристика роботи та отриманих у ній результатів.**

1. Розроблення методу вирощування кристалів твердих розчинів без використання кристалічного запалу при варіюванні складу розплаву та температури його кристалізації.
2. Встановлення зв'язку між концентрацією активатора (Ce), співвідношенням Lu/Y та сцинтиляційними і оптичними властивостями об'ємних кристалів LuYAG:Ce, вирощених у W тиглях у відновлювальному середовищі.

**Об'єктом дослідження** процес отримання об'ємних та профільованих сцинтиляційних кристалів рідкісноземельних гранатів із розплаву у відновлювальному та інертному середовищах.

**Предметом дослідження** є особливості отримання об'ємних та профільованих сцинтиляційних кристалів рідкісноземельних гранатів у інертному та відновлювальному середовищах, залежність оптичних та сцинтиляційних характеристик отриманих кристалів від їх складу та умов вирощування.

### **Методи досліджень.**

Методи вирощування монокристалів методами Чохральського та мікровитягування, стандартні методи дослідження фото-, рентгено- та радіолюмінесценції, світлового виходу і енергетичного розділення, кінетики загасання сцинтиляційного імпульсу.

### **Формулювання наукового завдання, нове вирішення якого отримано в дисертації.**

Розробка нових методів отримання і дослідження функціональних параметрів сцинтиляційних кристалів рідкісноземельних гранатів із розплаву у відновлювальному та інертному середовищах.

### **Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях**

Наукові положення роботи цілком повністю викладено у трьох статтях журналів, що реферуються у міжнародних базах даних а також у 6 публікаціях, що засвідчують апробацію роботи.

**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації: публікації у періодичних наукових виданнях інших держав, що і реферуються у міжнародних наукометричних базах**

1. **D. Kofanov**, I. Gerasymov, O. Sidletskiy, et al. LuAG:Ce and LuYAG:Ce scintillation crystals grown under reducing conditions from W crucibles. *Optical Materials*, 2022,

- 134(10),113176. doi: 10.1016/j.optmat.2022.113176 (міжнародне наукове видання).
2. O. Sidletskiy, K. Lebbou, **D. Kofanov**. Micro-pulling-down growth of YAG- and LuAG-based garnet fibres: advances and bottlenecks. CrystEngComm, 2021,23, 2633-2643. (міжнародне наукове видання) doi: 10.1039/D1CE00091H.
  3. O. Sidletskiy, K. Lebbou, **D. Kofanov**, V. Kononets, Ia. Gerasymov, R. Bouaita, V. Jary, R. Kucerkova, M. Nikl, A. Polesel, K. Pauwels, E. Auffray. Progress in fabrication of long transparent YAG:Ce and YAG:Ce,Mg single crystalline fibers for NER applications. CrystEngComm, 2019, 21, 1728 – 1733pp. doi: 10.1039/C8CE01781F (міжнародне наукове видання).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

4. **Д. Кофанов**, К. Леббу, О. Сідлецький, В. Кононець, Я. Герасимов, В. Нестеркіна, К. Дюжардін, В. Ярі, М. Нікл, А. Посел, М. Лучіні, Э. Ауфрей, Р. Буайта. Поліпшення довжини загасання в волокнах на основі YAG:Ce. International workshop for young scientists «Functional materials for technical and biomedical applications». 9-12.06.2019, Харків, Україна. 18.**D. Kofanov**, O. Sidletskiy, K. Lebbou, V. Kononets, Ia. Gerasymov, R. Bouaita, V. Jary, R. Kucerkova, M. Nikl, A. Polesel, K. Pauwels, E. Auffray. Improving the Attenuation Length of the YAG:Ce Based Fibers, SCINT 2019 September 29 – October 4,2019, p. 8;
5. **D. Kofanov**, Ia. Gerasymov, P. Arhipov, S. Tkachenko, D. Kurtsev, S. Neicheva, Ya. Boyaryntseva, O. Zelenskaya, O. Sidletskiy. Growth and characterization of carbon-doped mixed LuYAG crystals. Functional materials for technical and biomedical applications, 6-10.09.2021, Kharkiv, Ukraine. p 14.
6. **D. Kofanov**, Ia. Gerasymov, P. Arhipov, S. Tkachenko, D. Kurtsev, Ya. Boyaryntseva, O. Zelenskaya, T. Gorbacheva, K. Lebbou, O. Sidletskiy. Growth and characterization of mixed LuYAG crystals grown under reducing atmosphere. 11<sup>th</sup> International Conference on Luminescent Detectors and Transformers of Ionizing Radiation, 12-17.09.2021, Bydgoszcz, Poland, p.40.
7. **D. Kofanov**, Ia. Gerasymov, P. Arhipov, S. Tkachenko, D. Kurtsev, S. Neicheva, Ya. Boyaryntseva, O. Zelenskaya, O. Sidletskiy. Growth and characterization of mixed LuYAG:Ce crystals grown in the reducing atmosphere. International school-seminar for young scientists «Functional materials for technical and biomedical applications» 18-20 September 2023, Kharkiv, Ukraine.

**Наукові праці, які додатково відображають наукові результати**

8. **Д. Кофанов**, С. Ткаченко, Я. Герасимов, О. Сідлецький. Патент на корисну модель №145280 «Спосіб вирощування монокристалів» від 25.11.2020;
9. **Д. Кофанов**, С. Ткаченко, Д. Курцев, О. Сідлецький. Патент на корисну модель №145281 «Пристрій для затравлення під час вирощування монокристалів» від 25.11.2020;

Результати дисертації повністю відображені в зазначених публікаціях.

### **Значущість дослідження для науки і практики.**

*Автором роботи вперше:*

1. Показано можливість отримання методом мікровитягування довгих (більше 20 мм) волокон  $\text{YAG:Ce}$  з довжиною поглинання 38 см завдяки додаванню надлишку 120 ppm  $\text{Al}_2\text{O}_3$  відносно стехіометричного складу кристалу  $\text{YAG}$ .
2. Доведено, що термічна обробка протягом 48 год при 1200 °C покращує довжину поглинання для волокон  $\text{YAG:Ce}$ , співактивованих  $\text{Mg}$ .
3. Розроблено пристрій, що дозволяє уникнути використання кристалічного запалу в умовах різного складу та температури плавлення ростових розплавів. Пристрій використовує капілярний ефект підйому розплаву і забезпечує надійне кріплення вирощуваного кристалу.
4. Отримано кристали  $\text{LuAG:Ce}$  та  $\text{LuYAG:Ce}$  із довжиною циліндричної частини до 6 см з вольфрамівих тиглів у відновлювальній атмосфері  $\text{Ar}+\text{CO}$ .
5. Знайдено оптимальну концентрацію активатору при отриманні кристалів  $\text{LuAG:Ce}$ , яка склала 1%  $\text{Ce}$  в розплаві, яка забезпечує світловий вихід кристалу 26500 фотонів/MeV.

*Практичне значення роботи.*

1. Розроблений пристрій для затравлення з капіляром, а також метод затравлення з його використанням, дозволяють отримувати монокристали без використання запалу та формування шийки кристалу для відбору зародку для вирощування монокристалу. Рішення захищено двома патентами на корисну модель;
2. Методом мікровитягування у інертній атмосфері з використанням  $\text{Ir}$  тиглів були отримані довгі (> 40 см) волокна  $\text{YAG}$ , довжина поглинання прозорої частина яких досягає 40 см.
3. Розроблений спосіб вирощування кристалів твердих розчинів на основі  $\text{LuYAG:Ce}$  з вольфрамівих тиглів у відновлювальній атмосфері дозволяє отримувати кристали із контрольованими властивостями (світловий вихід, діапазон люмінесценції, густина та ін.) для конкретних застосувань завдяки варіюванню співвідношення компонентів  $\text{Lu/Y}$ .

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

1. Методи досліджень можна було викласти одним реченням, наприклад «Методи вирощування монокристалів методами Чохральського та мікровитягування, стандартні методи дослідження фото-, рентгено- та радіолюмінесценції, світлового виходу і енергетичного розділення, кінетики загасання сцинтиляційного імпульсу».
2. Останній пункт наукової новизни скоріше є висновком.
3. У літературних джерелах 21, 25 та 75 не вказано рік.

4. «Мікро витягування» подекуди 2 слова написані окремо, а подекуди – разом. В останньому реченні особистого внеску автора є помилка: «проввів». Рівняння 1.2:  $T$  позначає температуру в Кельвінах, в рівнянні ж  $T > 950$  °С. Стор. 56, підрозділ 2.1.2, другий абзац «водної пари». Подекуди пропущено коми у дієприкметникових зворотах. Автор в багатьох випадках використовує десяткову точку замість десяткової коми (наприклад у Табл. 3.2.).
5. Підпис до Рис. 1.1, 1.3, 4.10 вирівняно по ширині, а 1.2 і далі – відцентровано і цей підпис закінчується точкою. Слід форматувати підписи одноманітно. Рис. 4.13 розміщено на одній сторінці, підпис – на іншій.

#### **Відсутність порушень академічної доброчесності.**

Робота не містить ознак академічного плагіату.

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

За своїм фаховим спрямуванням, науковою новизною і практичною значимістю дисертаційна робота Кофанова Д.О. відповідає спеціальності 132 – Матеріалознавство. Здобувачем повністю виконано освітню та наукову складову освітньо-наукового рівня вищої освіти.

Вважаю, що за актуальністю, новизною, рівнем і достовірністю отриманих наукових результатів дисертація Кофанова Дениса Олеговича «Отримання сцинтиляційних 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, безумовно заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 Матеріалознавство галузі знань 13 Механічна інженерія.

Рецензент

завідувач лабораторії синтезу  
сцинтиляційних матеріалів Інституту  
сцинтиляційних матеріалів НАН  
України, д. х. н. проф.

Віктор ЧЕРГИНЕЦЬ

Підпис В. Чергинця засвідчую

Заступник директора Інституту  
сцинтиляційних матеріалів НАН  
України з наукової роботи  
д.ф.-м.н., с.д.



Олександр Сорокін