

Рішення спеціалізованої вченої ради про присудження ступеня доктора філософії

Спеціалізована вчена рада Інституту сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України, м. Харків, прийняла рішення про присудження Кофанову Денису Олеговичу ступеня доктора філософії з галузі знань 13 Механічна інженерія на підставі прилюдного захисту дисертації «Отримання сцинтиляційних кристалів рідкісноземельних гранатів із розплаву у відновлювальному та інертному середовищах» за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

10 січня 2024 року.

Кофанов Денис Олегович, 1996 року народження, громадянин України, освіта вища: у 2019 році здобув ступінь магістра на кафедрі фізики кристалів фізичного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

З 01.11.2019 року по 31.10.2023 року навчався в аспірантурі Інституту сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України за спеціальністю 132 Матеріалознавство галузі знань 13 Механічна інженерія.

Дисертацію виконано у Інституті сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України, м. Харків.

Науковий керівник: Сідлецький Олег Цезаревич, завідувач відділу технології вирощування монокристалів ІСМА НАН України, доктор технічних наук, професор.

Здобувач має 3 наукові публікації за темою дисертації, всі опубліковані у періодичних наукових виданнях інших держав:

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.
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. 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 HEP applications. *CrystEngComm*, 2019, 21, 1728 – 1733pp. doi: 10.1039/C8CE01781F.

У дискусії взяли участь голова і члени спеціалізованої вченої ради:

Тарасов Володимир Олексійович, завідувач відділу сцинтиляційної радіометрії Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України, доктор фізико-математичних наук.

Пріхна Тетяна Олексіївна, завідувачка відділу технологій високих тисків, функціональних керамічних композитів і дисперсних надтвердих матеріалів Інституту надтвердих матеріалів ім. В. Н. Бакуля НАН України, академік НАН України, докторка технічних наук, професорка. Оцінка позитивна із зауваженнями:

1. У Вступі до дисертаційної роботи автор відмічає важливість досягнення певного комплексу характеристик волокон та кристалів для успішного застосування у детекторах (час загасання люмінесценції, довжину поглинання люмінесцентного світла, часову і просторову роздільну здатність, радіаційну стійкість), але у загальних висновках до дисертаційної роботи у багатьох випадках увага концентрується лише на зміні одного з показників, хоча в дисертації досліджується цілий ряд характеристик одержаних волокон чи кристалів. Наприклад, мало б

сенс, коли робиться висновок про зміну світлового виходу в залежності від концентрації активатора, додати ще й інформацію про зміну часу згасання та роздільної здатності і т.п.

2. У Главі 3 автор досліджує вплив концентрації надлишку алюмінію на кристалізацію YAG:Ce. З результатів, наведених на Рис. 3.6 випливає, що найбільша довжина поглинання в прозорій частині волокон спостерігалась при надлишку алюмінію 200 ppm, але при проведенні вирощування при удвічі більшою початковою кількістю розплаву YAG:Ce в тиглі та більшим вертикальним тепловим градієнтом на фронті кристалізації оптимальна кількість надлишкового алюмінію становила лише 125 ppm (рис. 3.10). Цікаво було б пояснити механізм цього явища.
3. З результатів, наведених у таблиці 4.1, випливає, що відпал кристалів з одного боку істотно покращує світловий вихід, а з іншого веде до деякого зменшення енергетичного розділення. За рахунок чого зменшується енергетичне розділення в результаті відпалу кристалів LuAG? Чи спостерігається дана закономірність при відпалі всіх кристалів і для всіх енергій збудження? Чи є збільшення світлового виходу і зменшення енергетичного розділення взаємно пов'язаними процесами?
4. В дисертаційній роботі не наводиться інформація про те чи змінюється і як склад кристалів та концентрація в них добавок по їх довжині і в залежності від відстані від центру до бічної поверхні, тобто по площі поперечного перерізу.
5. Потребувало б більш детального пояснення, яким чином експериментально здійснювався «геометричний відбір одного домінуючого зародку» при використанні капілярного зародкоутворення?
6. На стор. 107 зазначається, що найбільший світловий вихід у 27700 фотонів/MeV зареєстровано в $(\text{Lu}_{0,25}\text{Y}_{0,75})_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$, однак далі

стверджується, що «енергетичне розділення після відпалу досягло 10%, подібно до значень, зареєстрованих у гранатах, вирощених традиційним способом в Іг-тиглях [90]». Чи достатньо такого розділення для ефективної роботи сенсора?

7. На титульному листі не вказано «галузь знань – 13 Механічна інженерія».
8. На стор. 83 має бути посилання Рис. 3.15, а не на рис. 3.14.

Крижановська Олександра Сергіївна, старша наукова співробітниця відділу кристалічних матеріалів складних сполук Інституту монокристалів НАН України, кандидатка технічних наук. Оцінка позитивна із зауваженнями:

1. 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?
2. 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?
3. 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.
4. В тексті зустрічаються некоректні вирази, такі як «посилення градієнту», «погіршення довжини поглинання», «покращення часу загасання».
 5. В Таблиці 3.1, невірно вказаний параметр співвідношення довжини волокна і довжини прозорої частини.
 6. На стор. 44 і 85 присутні некоректні посилання на рисунки 1.5 і 3.16 відповідно.

Чергинець Віктор Леонідович, завідувач лабораторії синтезу сцинтиляційних матеріалів Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України, доктор хімічних наук, професор. Оцінка позитивна із зауваженнями:

1. Методи досліджень можна було викласти одним реченням, наприклад «Методи вирощування монокристалів методами Чохральського та мікровитягування, стандартні методи дослідження фото-, рентгено- та радіолоюмінесценції, 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 $T > 950^{\circ} \text{C}$. Стор. 56, підрозділ 2.1.2, другий абзац «водної пари». Подекуди пропущено коми у дієприкметникових зворотах. Автор в багатьох випадках використовує десяткову точку замістьдесяткової 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.

Тупіцина Ірина Аркадіївна, завідувачка лабораторії тугоплавких скінтіляційних матеріалів Інституту скінтіляційних матеріалів НАН України, кандидатка технічних наук, старша дослідниця. Оцінка позитивна із зауваженнями:

1. В роботі здобувачем розроблено методику вирощування методом Чохральського монокристалів LuAG та LuYAG. Вирощування відбувалось у відновлювальній атмосфері з використанням вольфрамового тиглю. Чи залежали оптичні та скінтіляційні характеристики монокристалів від складу та чистоти відновлювальної атмосфери вирощування? Якщо залежали, то яким чином?
2. В представленій дисертаційній роботі розроблено методику термічної обробки монокристалів алюмінатів ітрію та лютецію: у відновлювальній атмосфері Ar+CO у вольфрамовому тиглі в ростовій установці та у муфельній печі в атмосфері повітря. Які були температурні режими та як вони були визначені у випадку, коли спостерігались найкращі зміни оптичних та скінтіляційних характеристик монокристалів?
3. В п.4.2 були досліджені оптичні властивості кристалів LuYAG після термічної обробки. За яких умов були оброблені зразки монокристалів?
4. В представленій дисертаційній роботі досліджувався вплив неконтрольованих домішок на люмінесцентні характеристики монокристалів алюмінатів ітрію та лютецію. Яким був домішковий склад сировини, що застосовувалась для вирощування кристалів? Якою була концентрація домішок, що значно впливають на характеристики монокристалів, що досліджувались?

5. Яким чином було доведено, що смуга випромінювання біля 800 нм (рис. 4.8б, крива 4) і відповідна смуга збудження при 250 нм пов'язані з комплексом із переносом заряду $\text{Fe}^{3+} - \text{O}^{2-}$, що спостерігається внаслідок окиснення Fe^{2+} до Fe^{3+} під час відпалу на повітрі? В роботі, на яку посилається здобувач, досліджувалась смуга випромінювання 0,5 еВ (2,5 мкм) в InP. Спектр збудження цієї люмінесценції, пов'язаної з випромінюванням Fe^{3+} , має характерну тонку структуру при 1,13 еВ (1,1 мкм), яка належить до процесу перенесення заряду типу: $\text{Fe}^{3+} + h\nu(1,13 \text{ eV}) \rightarrow [\text{Fe}^{2+}, \text{зв'язана дірка}]$.
6. Як можна пояснити висновки з даних рисунку 4.8, що «смуга випромінювання 550 нм спричинена домішкою іонів Ce^{3+} , оскільки вона збуджується в межах двох смуг з максимумами у 350 нм у 445 нм». З рисунку видно, що спектр збудження люмінесценції 550 нм має максимуми при 245 нм, 350 нм та 450 нм, перші 2 найбільш інтенсивні. «Смуга випромінювання 680 нм, збуджена в смугі з максимумом у 243 нм є подібною до тієї, що спостерігається в невідпалених кристалах YAG:C та YAG:Ce,C». З рисунку видно, що спектр збудження люмінесценції 680 нм має максимуми при 245 нм, 350 нм та 450 нм, перші 2 найбільш інтенсивні. «Ще одна смуга люмінесценції при 620 нм, що збуджується при 325 нм, можливо, пов'язана з люмінесценцією карбонвмісних дефектів». Чому смугу 620 нм збуджували світлом з довжиною хвилі 325 нм, хоча зі спектру збудження цієї смуги видно, що інтенсивність люмінесценції на порядок вища при збудженні ~260 нм? При збудженні 235 нм, 243 нм та 370 нм спектри люмінесценції майже співпадають та мають найбільш інтенсивну смугу ~400 нм. З чим пов'язана ця люмінесценція?

7. В роботі наявна певна кількість недоліків в оформленні та одруківок, наприклад, на титульному листі не вказано «галузь знань – 13 Механічна інженерія», в анотації «спеціальністю 102

«Матеріалознавство»», в роботі два рисунки з номером 2.3, не всі скорочення наведені в переліку умовних скорочень (наприклад, «ПЗЗ», «ФЛ» тощо), на рис. 3.11 наведено «Криві загасання люмінесценції волокон на основі YAG», а названо «Криві загасання волокон на основі YAG».

«За» 5 членів ради,

«Проти» 0 членів ради,

«Утрималось» 0 членів ради

На підставі результатів відкритого голосування та прийнятого рішення

**СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВЧЕНА РАДА
ІНСТИТУТУ СЦИНТИЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НАЦІОНАЛЬНОЇ
АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
УХВАЛИЛА:**

1. Дисертація Кофанова Дениса Олеговича на тему «Отримання сцинтиляційних кристалів рідкісноземельних гранатів із розплаву у відновлювальному та інертному середовищах», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 Матеріалознавство, є завершеним самостійним науковим дослідженням і відповідає вимогам «Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах)», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261; «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.

2. Присудити Кофанову Денису Олеговичу ступінь доктора філософії з галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

3. Рішення разової спеціалізованої вченої ради затвердити і передати до відділу аспірантури та докторантури Інституту.

4. Відділу аспірантури та докторантури підготувати наказ про видачу Кофанову Денису Олеговичу диплома доктора філософії та додатка до нього європейського зразка.

Голова спеціалізованої вченої ради
доктор фізико-математичних наук

Володимир ТАРАСОВ

Підпис Володимира ТАРАСОВА засвідчую.

Учений секретар Інституту
сцинтиляційних матеріалів НАН України



Юрій ДАЦЬКО