

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U002478

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 24-06-2025

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. СІРИК Юрій Вікторович

2. Yurii V. SIRYK

Кваліфікація: 132

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-4744-5608

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 132

Назва наукової спеціальності: Матеріалознавство

Галузь / галузі знань: механічна інженерія

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Монокристалічні, керамічні та наноструктурні матеріали

Дата захисту: 20-08-2025

Спеціальність за освітою: Радіаційне матеріалознавство

Місце роботи здобувача: Інститут монокристалів Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 00210217

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 60, Харків, Харківський р-н., 61072, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 9819

Повне найменування юридичної особи: Інститут монокристалів Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 00210217

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 60, Харків, Харківський р-н., 61072, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Інститут монокристалів Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 00210217

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 60, Харків, Харківський р-н., 61072, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 29.31.51, 47.09.43, 29.31.23, 29.31.27

Тема дисертації:

1. Отримання люмінесцентних евтектичних композитів $\text{Al}_p\text{O}_p/\text{YAG}:\text{Ce}$ методом ГСК для LED/LD джерел білого світла
2. Obtaining of luminescent eutectic composites $\text{Al}_p\text{O}_p/\text{YAG}:\text{Ce}$ by horizontal directional crystallization for LED/LD white light sources

Реферат:

1. Дисертація присвячена дослідженню процесу отримання евтектичних композитів (ЕК) на основі корунду та ітрію-алюмінієвого гранату, допованого іонами церію ($\text{Al}_p\text{O}_p/\text{YAG}:\text{Ce}$), методом горизонтальної спрямованої кристалізації у відновному середовищі, а також закономірностей формування мікроструктури, фазового складу, механічних, оптичних властивостей та світлотехнічних характеристик люмінесцентних конвертерів на їх основі для LED/LD джерел білого світла. У розділі 1 дисертаційної роботи проведено аналіз літературних джерел щодо сучасних розробок люмінесцентних матеріалів для конвертерів потужного лазерного та світлодіодного випромінювання. Обґрунтовано доцільність досліджень гетерофазних евтектичних композитів $\text{Al}_p\text{O}_p/\text{YAG}:\text{Ce}$ як люмінесцентного матеріалу для створення фотоконвертерів для

LED/LD джерел білого світла. Другий розділ описує експериментальні методики, обладнання та матеріали, які були використані для отримання евтектики $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$, а також для аналізу структурно-фазового стану й властивостей евтектичних композитів, включаючи механічні, оптичні, люмінесцентні та світлотехнічні характеристики. У розділі 3 проаналізовано вплив умов кристалізації на формування фазового складу та морфології евтектик $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$ з різним вмістом церію. Встановлено, що при кристалізації розплаву складу 81,5 мол.% Al_2O_3 та 18,5 мол.% Y_2O_3 , за умов перегріву, який не перевищує 100°C від температури евтектики $T_p = 1816^\circ\text{C}$, температурного градієнта $\approx 45^\circ\text{C}/\text{cm}$ та швидкості кристалізації до $50\text{mm}/\text{год}$, можливе отримання евтектики $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}$ з мікроструктурою типу «китайське письмо». Отримано залежність евтектичного інтервалу (ΔT) від швидкості росту V для недопованої евтектики $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}$, отриманої методом ГСК, яка помітно відхиляється від теоретичної моделі Джексона–Ханта. Встановлено немонотонну залежність параметрів мікроструктури евтектики $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}^{3+}$ від швидкості кристалізації. У четвертому розділі досліджено механічні характеристики ЕК. Встановлено, що зменшення ΔT у 4 рази призводить до збільшення мікротвердості на 16,5% та тріщиностійкості на 13,5%. Підвищення концентрації Ce до 0,5 ат.% (в початковій сировині) спричиняє зниження мікротвердості на 27% і коефіцієнта тріщиностійкості на $\approx 42\%$. Виявлено, що високотемпературний відпал $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$ у вакуумі суттєво покращує механічні властивості ЕК: мікротвердість зростає на 40% (з $11,6 \pm 0,3\text{ГПа}$ до $15,8 \pm 0,3\text{ГПа}$), а тріщиностійкість – на 72% (з $1,8 \pm 0,2\text{МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ до $3,05 \pm 0,2\text{МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$). Розділ 5 присвячено теоретичним і експериментальним дослідженням оптичних та люмінесцентних властивостей евтектик $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$, а також світлотехнічних характеристик фотоконвертерів на їх основі для LED/LD джерел білого світла. Проведено теоретичну оцінку абсолютної ефективності конвертерів з кристала $\text{YAG}:\text{Ce}$ та ЕК $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$ завтовшки $H_p = 1\text{mm}$: $\eta_{\text{сп}} \approx 8,8\%$, $\eta_{\text{еп}} \approx 22,5\%$. Встановлено, що оптико-спектральні характеристики $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$ значною мірою залежать від вмісту церію, параметрів мікроструктури та її однорідності. Отримано лінійну залежність оптичного пропускання від ΔT . Показано, що додатковий відпал ЕК в окислювальному середовищі при $T_p = 1500^\circ\text{C}$ призводить до зростання оптичного пропускання до 20% (для довжини хвилі $\geq 480\text{nm}$). Показано, що індикатриса пружного розсіювання світла наближається до ламбертівської, однак може змінюватися залежно від товщини зразка та напрямку первинного променя, що зумовлено наявністю неоднорідностей і текстурою колоніальної структури допованої евтектики $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$. На основі аналізу люмінесценції іонів Ce^{3+} в зразках $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$ встановлено: 1) інтенсивність люмінесценції для евтектичних зразків майже у 7 разів перевищує таку для монокристалів $\text{YAG}:\text{Ce}$; 2) світловий вихід люмінесценції іонів Ce^{3+} залежить від орієнтації поверхні емісії відносно напрямку кристалізації зливка; 3) інтенсивність люмінесценції може бути збільшена приблизно на 15% за рахунок відпалу в окислювальному середовищі при $T_p = 1500^\circ\text{C}$. Встановлено, що зменшення розміру мікроструктури (ΔT) евтектики $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$ призводить до зростання ефективності люмінесценції. Максимум світловіддачі $234\text{lm}/\text{Вт}$ досягається для конвертера з $\Delta T = 8,9 \pm 1,4\text{mK}$ при концентрації домішки 0,25 ат.%. З'ясовано, що існує оптимальна товщина фотоконвертера, при якій досягається максимальна світлова віддача; ця товщина залежить від концентрації Ce , розміру мікроструктури евтектики та потужності опромінення.

2. The dissertation is devoted to the investigation of the process of obtaining eutectic composites (ECs) based on corundum and yttrium aluminum garnet doped with cerium ions ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$) by the method of horizontal directional crystallization (HDC) in a reducing atmosphere, as well as the study of the regularities of microstructure formation, phase composition, mechanical, optical properties, and photometric characteristics of luminescent converters based on them for LED/LD white light sources. Chapter 1 of the dissertation presents an analysis of the scientific literature concerning current developments in luminescent materials for converters of high-power laser and light-emitting diode radiation. The feasibility of investigating heterophase eutectic composites $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$ as luminescent materials for the fabrication of photoconverters for LED/LD white light sources is substantiated. Chapter 2 describes the experimental methodologies, equipment, and materials used to synthesize $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$ eutectics, and to analyze and investigate their structural-phase state and properties, including mechanical, optical, luminescent, and photometric characteristics. Chapter 3 analyzes the influence of crystallization conditions on the phase composition and morphology of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$ eutectics with varying cerium

content. It was established that directional crystallization of a melt with 81.5 mol.% Al_2O_3 and 18.5 mol.% Y_2O_3 , with an overheating not exceeding 100°C above the eutectic temperature ($T_E = 1816^\circ\text{C}$), a temperature gradient of approximately $45^\circ\text{C}/\text{cm}$, and a crystallization rate up to 50 mm/h, enables the formation of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}$ eutectics with a "Chinese script"-type microstructure. A dependence of the eutectic spacing (λ) on the growth rate V was established for undoped $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}$ eutectics obtained by HDC, which significantly deviates from the theoretical Jackson–Hunt model. A non-monotonic dependence of the microstructural parameters of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}^{3+}$ eutectics on the crystallization rate was revealed. Chapter 4 investigates the mechanical characteristics of the ECs. It was determined that a fourfold reduction in λ leads to an increase in microhardness by 16.5% and in fracture toughness by 13.5%. An increase in cerium concentration to 0.5 at.% in the starting materials results in a decrease in microhardness by 27% and in fracture toughness by nearly 42%. It was found that high-temperature annealing of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$ in vacuum significantly improves the mechanical properties of the ECs, increasing microhardness by 40% (from 11.6 ± 0.3 GPa to 15.8 ± 0.3 GPa) and fracture toughness by 72% (from 1.8 ± 0.2 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ to 3.05 ± 0.2 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$). Chapter 5 is dedicated to theoretical and experimental studies of the optical and luminescent properties of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$ eutectics and the photometric characteristics of photoconverters based on them for LED/LD white light sources. A theoretical estimation of the absolute efficiency of a converter made from YAG:Ce crystal and $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$ EC with a thickness of $H = 1$ mm yielded values of $\eta_c \approx 8.8\%$ and $\eta_e \approx 22.5\%$, respectively. It was established that the optical-spectral characteristics of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$ are significantly influenced by the cerium content, microstructural parameters, and their homogeneity. A linear dependence of optical transmittance on λ was obtained. It was shown that additional annealing of ECs in an oxidizing atmosphere at $T = 1500^\circ\text{C}$ leads to an increase in optical transmittance by up to 20% (at wavelengths ≥ 480 nm). It was demonstrated that the shape of the indicatrix of elastic light scattering is close to Lambertian and may undergo certain changes depending on sample thickness and the direction of the primary beam, due to structural inhomogeneities and the texture of the columnar structure in doped $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$ eutectics. Based on the analysis of the Ce^{3+} ion luminescence in $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$ samples, the following was established: 1) the luminescence intensity of eutectic samples is almost 7 times higher than that of monocrystalline YAG:Ce; 2) the luminous output of Ce^{3+} luminescence depends on the orientation of the emission surface relative to the crystallization direction of the ingot; 3) an increase in luminescence intensity by approximately 15% can be achieved by annealing in an oxidizing atmosphere at $T = 1500^\circ\text{C}$. It was found that a decrease in the microstructure size (λ) of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{YAG}:\text{Ce}$ eutectics results in increased luminescence efficiency, with a maximum luminous efficacy of 234 lm/W observed for an eutectic converter with $\lambda = 8.9 \pm 1.4$ μm and a dopant concentration of 0.25 at.%. It was clarified that there exists an optimal converter thickness at which the maximum luminous efficacy is achieved. This thickness depends on the Ce concentration, microstructural dimensions of the eutectic, and the irradiation power of the converter.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

Підсумки дослідження: Нове вирішення актуального наукового завдання

Публікації:

- S.V. Naydenov, O.M. Vovk, Yu.V. Siryk, S.V. Nizhankovskyi, I.M. Pritula. Efficiency of planar light converters based on Al_2O_3 -YAG: Ce eutectic crystals, *Functional Materials*, 28 (2021) 533-541.
- Yu. Siryk, O. Vovk, L. Gryn, A. Romanenko, V. Baranov, S. Nizhankovskyi. Eutectic Composites in Al_2O_3 - Y_2O_3 System Solidified by Horizontal Directed Crystallization Method, *Acta Physica Polonica A141* (2022) 268–272.

- O. Vovk, Yu. Siryk, S. Nizhankovskii, O. Fedorov, P. Mateichenko. Morphology and microstructure of crystalline YAG-Al₂O₃ composites grown by the horizontal directional crystallization, Journal of Alloys and Compounds 934 (2023) 168004.
- A. Shakhno, T. Zorenko, S. Witkiewicz-Łukaszek, M. Cieszko, Z. Szczepański, O. Vovk, S. Nizhankovskiy, Yu. Siryk, Yu. Zorenko. Ce³⁺ Doped Al₂O₃-YAG Eutectic as an Efficient Light Converter for White LEDs, Materials 16 (2023) 2701.
- A.V. Voloshin, O.M. Vovk, Yu.V. Siryk, L.O. Grin, V.V. Baranov, P.V. Mateichenko, A.G. Fedorov, S.V. Nizhankovskiy, The effect of the redox potential of annealing environment on the mechanical properties of Al₂O₃-YAG:Ce eutectics, Journal of Alloys and Compounds 961 (2023) 170940.
- L.O. Gryn, Yu.V. Siryk, V.V. Baranov, O.M. Vovk, S.V. Naydenov, S.V. Nizhankovsky. The effect of cerium doping and rate of crystallization on the morphology and microstructure of the Al₂O₃/YAG eutectic composite, Functional Materials 30 (2023) 606-614.

Наукова (науково-технічна) продукція: технології; матеріали

Соціально-економічна спрямованість: створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту; економія енергоресурсів

Охоронні документи на ОПВ:

Впровадження результатів дисертації: Планується до впровадження

Зв'язок з науковими темами: 0117U007370, 0120U101754, 0123U102743

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. НИЖАНКОВСЬКИЙ Сергій Вікторович
2. Serhii V. NIZHANKOVSKYI

Кваліфікація: к. т. н., с.д., 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-8982-6751

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут монокристалів Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 00210217

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 60, Харків, Харківський р-н., 61072, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. БОЯРИНЦЕВ Андрій Юрійович

2. Andrii Y. BOJARINTSEV

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.02.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-9252-0430

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 23756522

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 60, Харків, Харківський р-н., 61072, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. БОГОМОЛ Юрій Іванович

2. Yurii I. BOGOMOL

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.16.06

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-6633-0078

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Код за ЄДРПОУ: 02070921

Місцезнаходження: проспект Берестейський, буд. 37, Київ, 03056, Україна

Форма власності:

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. ЯВЕЦЬКИЙ Роман Павлович

2. Roman P. YAVETSKIY

Кваліфікація: д. т. н., професор, 05.02.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-4260-5481

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут монокристалів Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 00210217

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 60, Харків, Харківський р-н., 61072, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. КРИЖАНОВСЬКА Олександра Сергіївна

2. Oleksandra S. KRYZHANOVSKA

Кваліфікація: к. т. н., 05.02.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0009-0001-1792-9444

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут монокристалів Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 00210217

Місцезнаходження: проспект Науки, буд. 60, Харків, Харківський р-н., 61072, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
голови ради**

БЕЗКРОВНА Ольга Миколаївна

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові
головуючого на засіданні**

БЕЗКРОВНА Ольга Миколаївна

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Сірик Юрій Вікторович

Реєстратор

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є
відповідальним за реєстрацію наукової
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна