

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U000521

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 19-01-2024

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Балабанов Антон Едуардович

2. Balabanov Anton E.

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

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: 06-03-2024

Спеціальність за освітою: фізика та астрономія

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

Сектор науки: Не застосовується

III. Відомості про дисертацію

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): ДФ 4660

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:

Сектор науки: Академічний

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:

Сектор науки: Академічний

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 81.09

Тема дисертації:

1. Процеси синтезу та властивості ІЧ-прозорої кераміки в системі MgO-Y₂O₃
2. Processes of synthesis and properties of IR-transparent ceramics in the MgO-Y₂O₃ system

Реферат:

1. Дисертацію присвячено визначенню особливостей отримання ІЧ-прозорої кераміки в системі MgO-Y₂O₃, а також впливу структурно-морфологічних характеристик нанопорошків на оптичні властивості та функціональні характеристики кераміки. Визначено основні фізико-технологічні параметри синтезу ІЧ-прозорої кераміки в системі MgO-Y₂O₃. Реалізовано комплексний підхід до синтезу оксиду ітрію, як ІЧ-прозорого матеріалу для вікон технологічних апаратів на всіх етапах маршруту отримання кераміки та умови синтезу нанокompозитів 50:50 об.% MgO-Y₂O₃ методом іскрового спікання. В першому розділі описані методи отримання прозорих середовищ для сучасної інфрачервоної (ІЧ) оптики в системі MgO-Y₂O₃. У

другому розділі наведено детальний опис експериментальних методик отримання порошків, виготовлення зразків ІЧ-прозорої кераміки та описано методи їх характеристики. В третьому розділі досліджено активність до спікання нанопорошків Y_2O_3 як функцію їх структурно-морфологічних характеристик. Визначено, що комерційні порошки Y_2O_3 утворюють тривимірні агломерати складної ієрархії з розміром до 3–5 мікрон, які формуються з більш тонких первинних частинок розмірами 25–60 нм. Встановлено, що ефективне ущільнення нанопорошків Альфа-нано обумовлено високою дисперсністю порошкової суміші, низьким ступенем агломерації та малим розміром первинних частинок. Досліджено закономірності формування твердих розчинів заміщення $Y_2O_3:La_3+$. Показано, що повне розчинення гексагонального La_2O_3 в кубічному Y_2O_3 відбувається за температур нижче $1500^\circ C$ за участі проміжних фаз, збагачених лантаном. Фазові перетворення, що супроводжуються збільшенням питомого об'єму, а також гігроскопічність оксиду лантану призводять до розтріскування високолегованої кераміки $Y_2O_3:La_3+$ при спіканні. В четвертому розділі досліджено особливості мезоструктури порошкових компактів Y_2O_3 , вплив домішок, що сприяють спіканню та умови формування кераміки Y_2O_3 . Показано, що попередній відпал компактів Y_2O_3 доцільно проводити за максимальної температури, при якій не відбувається спікання зі зближенням центрів частинок, а збільшення розміру пор не перевищує $\approx 30\%$. Компакти, відпалені за $T=800^\circ C$, характеризуються оптимальною мезоструктурою з точки зору ефективності ущільнення при подальшому вакуумному спіканні ($T=72\%$ при $p=1100$ нм). Показано, що комплексна домішка La_3++Zr_4+ , що сприяє спіканню, ефективно пригнічує рухливість границь зерен та одночасно активує дифузійний транспорт по розгалуженій системі міжзеренних меж за рахунок формування дефектів в катіонній підградці. Та в результаті оптимізації температурно-часового маршруту вакуумного спікання встановлено умови синтезу ІЧ-прозорої кераміки Y_2O_3 , з високою прозорістю в видимому та ІЧ-діапазонах (83% при 5 мкм). В п'ятому розділі досліджувалися фізико-хімічні умови формування аморфних прекурсорів та нанопорошків в системі $MgO-Y_2O_3$. Застосовуючи метод самопоширюваного гліцин-нітратного синтезу з використанням надлишку гліцину і азотної кислоти, були синтезовані композитні нанопорошки $MgO-Y_2O_3$ у співвідношенні 1:1 за об'ємом. Встановлено, що нерівноважні умови синтезу прекурсорів сприяють утворенню продукту коралоподібної геометрії. Визначено термодинамічну стабільність та стійкість прекурсора до фрагментації під час кальцинації. Показано, що за температур вище $800^\circ C$ волокна розпадаються на окремі ізольовані частинки квазісферичної морфології та видаються найбільш придатними для подальшого спікання у рамках керамічної технології. Шостий розділ присвячений дослідженню впливу температури спікання на процеси дифузійного масопереносу та фізичні властивості нанокompозитної кераміки $MgO-Y_2O_3$ та впливу домішки іонів Ho_3+ як домішки що сприяє спіканню. Реалізовано умови синтезу нанокompозитів 50:50 об.% $MgO-Y_2O_3$ методом іскрового спікання нанопорошків, які дозволяють отримати оптичну прозорість кераміки у ІЧ-діапазоні довжин хвиль. Показано що лінійне оптичне пропускання композиту $T\approx 68\%$ при $p=5000$ нм може бути реалізовано за умов формування однорідної двофазної структури, просторового обмеження процесів рекристалізації компонентів та збереження розміру зерен на рівні 200–250 нм, за якого внесок розсіювання світла на міжфазних межах є мінімальним. Отримана кераміка $MgO-Y_2O_3$ з Ho_3+ як домішки що сприяє спіканню. Всі зразки містять включення з розміром в межах 1–15 нм домішкової фази, які локалізовані як на границях зерен, так і на потрійних стиках. Найвища твердість за Віккерсом 10,7 ГПа досягається у зразку, легovanому 12 ат.% іонів Ho_3+ через наявність включень карбідів гольмію із характерними розмірами до 15 нм. Встановлено, що легування іонами Ho_3+ активізує дифузійний масоперенос при отриманні кераміки $MgO-Y_2O_3:Ho_3+$ (3–12 ат.%) через перерозподіл електронної щільності поблизу легуючих іонів. Це призводить до збільшення коефіцієнту оптичного пропускання кераміки $MgO-Y_2O_3:Ho_3+$ (3 ат.%) з 68 до 75% у порівнянні з нелегованою.

2. The dissertation is dedicated to determining the features of obtaining IR-transparent ceramics in the $MgO-Y_2O_3$ system, as well as the influence of structural-morphological characteristics of nanopowders on the optical and functional properties of ceramics. The main physico-technological parameters of the synthesis of IR-transparent ceramics in the $MgO-Y_2O_3$ system are determined. A comprehensive approach to the synthesis of yttrium oxide as an IR-transparent material for windows of technological devices is implemented at all stages of

the ceramic production route, as well as the conditions for the synthesis of 50:50 vol.% MgO-Y₂O₃ nanocomposites by spark plasma sintering. The first chapter describes the main features of methods for obtaining transparent media for modern infrared (IR) optics in the MgO-Y₂O₃ system. The second chapter provides a detailed description of experimental methods for obtaining powders, manufacturing samples of IR-transparent ceramics and methods of their characterization are described. The third chapter investigates the sintering activity of Y₂O₃ nanopowders as a function of their structural-morphological characteristics. It is determined that commercial Y₂O₃ powders form three-dimensional agglomerates of complex hierarchy with sizes up to 3-5 microns, which are formed from finer primary particles with sizes of 25-60 nm. It is established that the effective densification of Alpha-nano powders is due to the high dispersion of the powder mixture, a low degree of agglomeration, and a small size of primary particles. The regularities of the formation of substitution solid solutions Y₂O₃:La³⁺ are investigated. It is shown that complete dissolution of hexagonal La₂O₃ in cubic Y₂O₃ occurs at temperatures below 1500°C with the participation of intermediate phases enriched with lanthanum. Phase transformations accompanied by an increase in specific volume, as well as the hygroscopicity of lanthanum oxide, lead to the cracking of highly alloyed Y₂O₃ ceramics:La³⁺ during sintering. The fourth chapter investigates the features of the mesostructure of Y₂O₃ powder compacts, the influence of sintering-promoting additives, and the conditions for the formation of Y₂O₃ ceramics. It is shown that the pre-sintering of Y₂O₃ compacts is advisable at the maximum temperature at which sintering does not occur with the approach of particle centers, and the increase in the size of pores does not exceed ≈30%. Compacts fired at T=800°C are characterized by an optimal mesostructure in terms of densification efficiency during subsequent vacuum sintering (T=72% at ρ=1100 nm). It is shown that a complex doping of La³⁺+Zr⁴⁺, promoting sintering, effectively suppresses the mobility of grain boundaries and simultaneously activates the diffusion transport along the branched system of intergranular boundaries by forming defects in the cationic sublattice. Through the optimization of the temperature-time route of vacuum sintering, conditions for the synthesis of IR-transparent Y₂O₃ ceramics with high transparency in the visible and IR ranges (83% at 5 μm) are established. The fifth chapter investigates the physico-chemical conditions for the formation of amorphous precursors and nanopowders in the MgO-Y₂O₃ system. Using the method of self-propagating glycine-nitrate synthesis with an excess of glycine and nitric acid, composite MgO-Y₂O₃ nanopowders in a ratio of 1:1 by volume were synthesized. It is established that non-equilibrium conditions of precursor synthesis contribute to the formation of a product with coral-like geometry. It is shown that at temperatures above 800°C, the fibers break down into individual isolated quasi-spherical particles suitable for further sintering within the ceramic technology framework. The sixth chapter is dedicated to studying the influence of sintering temperature and Ho³⁺ ion doping on the processes of diffusion mass transfer and physical properties of MgO-Y₂O₃ nanocomposite ceramics. Conditions for the synthesis of 50:50 vol.% MgO-Y₂O₃ nanocomposites by spark plasma sintering of nanopowders, allowing the achievement of optical transparency of ceramics in the IR wavelength range, are implemented. It is shown that linear optical transmittance of the composite T≈68% at ρ=5000 nm can be realized under the conditions of forming a homogeneous two-phase structure, spatial restriction of recrystallization processes of components, and preservation of grain size at the level of 200-250 nm, where the contribution of light scattering at interphase boundaries is minimal. It is established that doping with Ho³⁺ ions activates diffusion mass transfer during the formation of MgO-Y₂O₃:Ho³⁺ ceramics (3-12 at.%) through the redistribution of electronic density near the doping ions. This leads to an increase in the optical transmittance coefficient of MgO-Y₂O₃:Ho³⁺ ceramics (3 at.%) from 68 to 75% compared to the undoped material.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Нові речовини і матеріали

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:

- O.S. Kryzhanovska, V.N. Baumer, S.V. Parkhomenko, A.G. Doroshenko, R.P. Yavetskiy, A.E. Balabanov, A.V. Tolmachev, S.N. Skorik, Jiang Li, A. Kuncser, Formation peculiarities and optical properties of highly-doped (Y_{0.86}La_{0.09}Yb_{0.05})₂O₃ transparent ceramics, *Ceramics International* 45 (2019) 16005–16010.
- O.S. Kryzhanovska, N.A. Safronova, A.E. Balabanov, R.P. Yavetskiy, M.V. Dobrotvorskaya, Jiang Li, S. Petrushenko, A.V. Tolmachev, N.A. Matveevskaya, E.N. Shulichenko, V.Yu. Mayorov, D. Sofronov, Y₂O₃–MgO highly-sinterable nanopowders for transparent composite ceramics, *Functional Materials* 26 (2019) 829–837.
- N.A. Safronova, O.S. Kryzhanovska, M.V. Dobrotvorskaya, A.E. Balabanov, A.V. Tolmachev, R.P. Yavetskiy, S.V. Parkhomenko, R. Brodskii, V.N. Baumer, D.Yu. Kosyanov, O.O. Shichalin, E.K. Papynov, Jiang Li, Influence of sintering temperature on structural and optical properties of Y₂O₃–MgO composite SPS ceramics, *Ceramics International* 46 (2020) 6537–6543.
- R.P. Yavetskiy, A.E. Balabanov, S.V. Parkhomenko, O.S. Kryzhanovska, A.G. Doroshenko, P.V. Mateychenko, A.V. Tolmachev, Jiang Li, Nan Jiang, L. Gheorghe, M. Enculescu, Effect of starting materials and sintering temperature on microstructure and optical properties of Y₂O₃:Yb₃₊ 5 at.% transparent ceramics, *Journal of Advanced Ceramics* 10 (2020) 49–61.
- N.A. Safronova, R.P. Yavetskiy, O.S. Kryzhanovska, M.V. Dobrotvorskaya, A.E. Balabanov, I.O. Vorona, A.V. Tolmachev, V.N. Baumer, I. Matolínová, D.Yu. Kosyanov, O.O. Shichalin, E.K. Papynov, S. Hau, C. Gheorghe, A novel IR-transparent Ho³⁺:Y₂O₃–MgO nanocomposite ceramics for potential laser applications, *Ceramics International* 47 (2021) 1399–1406.
- S. Parkhomenko, A. Balabanov, O. Kryzhanovska, N. Safronova, I. Vorona, A. Doroshenko, O. Vovk, O. Vashchenko, A. Tolmachev, R. Yavetskiy, Effect of green body annealing on microstructure and optical properties of Y₂O₃:Yb₃₊ ceramics, *Ceramics International* 49 (2023) 29048–29054.

Наукова (науково-технічна) продукція: матеріали

Соціально-економічна спрямованість:

Охоронні документи на ОПВ:

Впровадження результатів дисертації: Впровадження не планується

Зв'язок з науковими темами:

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Явецький Роман Павлович
2. Roman P. Yavetskyi

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

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

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:

Сектор науки: Академічний

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Беспалова Ірина Ігорівна

2. Iryna I. Bespalova

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

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

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

Сектор науки: Академічний

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Богомол Юрій Іванович

2. Iuriy I. Bogomol

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

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

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: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Сектор науки: Університетський

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Кривоногов Сергій Іванович
2. Kryvonogov Sergiy I.

Кваліфікація: к. т. н., 05.02.01

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

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:

Сектор науки: Академічний

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Вовк Олег Михайлович
2. Oleh M. Vovk

Кваліфікація: к. х. н., с.д., 02.00.04

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

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:

Сектор науки: Академічний

VIII. Заключні відомості

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

Безкровна Ольга Миколаївна

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

**Відповідальний за підготовку
облікових документів**

Реєстратор

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

Безкровна Ольга Миколаївна

Балабанов Антон Едуардович

УкрІНТЕІ



Юрченко Тетяна Анатоліївна