Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0826U003768

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 17-07-2026

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу: Наказ ЛНУ ім. Івана Франка № 993 від 07.08.2026 р.

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Іванушко Андріана Андріївна

2. Andriana A. Ivanushko

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0009-0005-8814-570X

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 102

Назва наукової спеціальності: Хімія

Галузь / галузі знань: природничі науки

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: 102 Хімія

Дата захисту: 22-07-2026

Спеціальність за освітою: Хімія

Місце роботи здобувача: Львівський національний університет імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 02070987

Місцезнаходження: вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): PhD 14737

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний університет імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 02070987

Місцезнаходження: вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

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

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний університет імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 02070987

Місцезнаходження: вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 55.23, 31.17.15

Тема дисертації:

1. Системи борокарбідів з d- та f-елементами (Ti, V, Cr, Y, Nd): фазові рівноваги та механічні властивості.

2. Systems of boron carbides with d- and f-elements (Ti, V, Cr, Y, Nd): phase equilibria and mechanical properties.

Реферат/анотація:

1. Дисертаційна робота присвячена дослідженню закономірностей фазоутворення, кристалічної структури, мікроструктури та механічних властивостей матеріалів на основі борокарбіду B4C у системах з d- та f-елементами (Ti, V, Cr, Y, Nd). Актуальність роботи обумовлена необхідністю створення надтвердих композитів із малою густиною, високою зносостійкістю, хімічною та термічною стабільністю. Борокарбід B4C є перспективним для використання у машинобудівній, аерокосмічній, оборонній промисловостях з огляду на поєднання його властивостей. Одним із перспективних підходів до покращення механічних властивостей є введення адикторів – боридів, оксидів та/або силіцидів металів в борокарбідну матрицю. Методом іскроплазмового спікання синтезовано керамічні композити систем B4C–TiB2, B4C–VB2, B4C–CrB2, B4C–YB6, B4C–Y2O3, B4C–Nd2O3, B4C–TiSi2 та B4C–Ti–Si. Дослідження фазового складу матеріалів та кристалічної структури індивідуальних фаз виконано методами рентгенівської порошкової дифракції. Мікроструктуру та локальний розподіл елементів досліджено методами скануючої електронної мікроскопії та енергодисперсійної рентгенівської спектрскопії. Густину визначено методом гідростатичного зважування,

твердість – методом Віккерса. Для керамічного матеріалу B4C, синтезованого методом іскроплазмового спікання з комерційного порошку, встановлено формування щільної дрібнозернистої структури з відносною густиною 99,5%. Твердість матеріалу становить 32,6 ГПа. Встановлено, що борокарбідна матриця у синтезованих матеріалах зберігає ромбоедричну кристалічну структуру: уточнений склад B13,12(2)C1,76(1), структурний тип B13C2, символ Пірсона hR51, просторова група R-3m, a = 5,60333(15), c = 12,0926(5) Å. На основі уточнення коефіцієнтів заповнення кристалографічних позицій атомів у структурі матриці виведено її формулу: B13+xC2–2x, x = 0,01-0,17. Оптимальний склад для створення композитів з високими значеннями твердості знаходиться в межах x = 0,12-0,17 (армування TiB2, CrB2, NdB6). Для системи B4C–TiB2 встановлено, що попередня обробка сумішей вихідних порошків у планетарному кульовому млині сприяє формуванню під час іскроплазмового спікання більш цілісної мікроструктури та підвищенню механічних властивостей композиту. Для композиту, без попередньої обробки суміші порошків, твердість становить 38,8 ГПа за відносної густини 98,9%, тоді як після обробки у планетарному кульовому млині твердість зростала до 41,1 ГПа за відносної густини 99,5%, що свідчить про ефективність використання TiB2 як зміцнювальної фази. Для композиту B4C–CrB2 встановлено, що за температури 1800°C формується двофазний матеріал B4C–CrB2 із твердістю 34,1 ГПа та відносною густиною 97,6%. Для композитів B4C–NdB6 встановлено, що використання попереднього перемішування у кульовому млині забезпечує формування під час іскроплазмового спікання більш однорідної структури. Для цих композитів твердість становить 47,3 ГПа за відносної густини 99,5%. Для систем B4C–TiSi2 та B4C–Ti–Si встановлено, що незалежно від способу високотемпературної обробки відбувається формування фаз TiB2, SiC та Si. Перетворення вихідного порошку TiSi2 відбувається повністю. Адиктор TiSi2 для керамічних матеріалів, синтезованих методом іскроплазмового спікання, демонструє твердість 43,9 ГПа за відносної густини 99,5%. Формування надтвердого керамічного композиту зумовлено одночасним утворенням армуючих фаз TiB2 та SiC безпосередньо під час спікання. Встановлено взаємозв'язок між фазовим складом, мікроструктурою, відносною густиною та твердістю композиту на основі B4C. Одержані результати можуть бути використані для створення виробів на основі надтвердих композиційних матеріалів з матрицею B4C, зокрема, керамічні композити систем B4C–Nd2O3 та B4C–TiSi2 можна рекомендувати для виготовлення елементів індивідуального та колективного захисту, бронепокриттів, конструкційної кераміки, а також інших деталей, що працюють в умовах високих механічних навантажень.

2. The dissertation work is devoted to the study of the regularities of phase formation, crystal structure, microstructure and mechanical properties of materials based on borocarbide B4C in systems with d- and f-elements (Ti, V, Cr, Y, Nd). The relevance of the work is due to the need to create superhard composite materials with, in addition to high hardness, low density, high wear resistance, chemical and thermal stability. B4C is consequently promising for use in many industries, in particular mechanical engineering, aerospace, and defense industries. One of the promising approaches to improving mechanical properties is the introduction of additives – borides, oxides and/or silicides of different metals into the borocarbide matrix. Ceramic composites in the systems B4C–TiB2, B4C–VB2, B4C–CrB2, B4C–YB6, B4C–Y2O3, B4C–Nd2O3, B4C–TiSi2, and B4C–Ti–Si were synthesized by spark plasma sintering. The phase composition of the synthesized materials and the crystal structure of individual phases were studied by X-ray powder diffraction. The microstructure and local distribution of the elements were studied by scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray spectroscopy. The density was determined by the hydrostatic weighing method, and the hardness by the Vickers method. For the ceramic material B4C, synthesized by spark plasma sintering from commercial powder, the formation of a dense fine-grained structure with a relative density of 99.5% was established. The hardness of the material was 32.6 GPa. It was established that the borocarbide matrix in the synthesized materials retains a rhombohedral crystal structure: the refined composition was B13.12(2)C1.76(1), structure type B13C2, Pearson symbol hR51, space group R-3m, a = 5.60333(15), c = 12.0926(5) Å. Based on the refined occupancies of the crystallographic positions of the atoms in the matrix structure, the formula was: B13+xC2–2x, x = 0.01-0.17 (for all of the synthesized materials). The optimal composition for creating composites with optimized mechanical properties is within x = 0.12-0.17 (reinforcement observed for TiB2, CrB2, NdB6). For the B4C–TiB2 system, it was found that pretreatment of the

initial powder mixtures in a planetary ball mill contributes to the formation of a more uniform microstructure during the spark plasma sintering and an enhancement of the mechanical properties of the composite. Without pretreatment of the powder mixture, the hardness of the composite was 38.8 GPa at a relative density of 98.9%, while, including a pretreatment in a planetary ball mill, the hardness increased to 41.1 GPa at a relative density of 99.5%, which indicates the advantages of using TiB2 as a strengthening phase. For the B4C–CrB2 composite was established that, at a temperature of 1800°C, a two-phase material B4C–CrB2 with a hardness of 34.1 GPa and a relative density of 97.6% was formed. For composites of the B4C–NdB6, a significant effect of a pretreatment of the starting powders in a planetary ball mill on the microstructure and hardness of the material was established. For composites the hardness was 47.3 GPa at a relative density of 99.5%. For the systems B4C–TiSi2 and B4C–Ti–Si it was established that regardless of the method of high-temperature treatment, TiB2, SiC and Si phases were present in the composite. The conversion of the initial TiSi2 powder was complete. The TiSi2 adduct for ceramic materials synthesized by the spark plasma sintering method exhibited hardness 43.9 GPa at a relative density of 99.5%. The formation of a superhard ceramic composite is due to the simultaneous formation of reinforcing TiB2 and SiC phases during sintering. Relationships between the phase composition, microstructure, relative density, and hardness of B4C-based composites has been established. The results obtained can be used to create products based on superhard composite materials with a B4C matrix. In particular, ceramic composites of the B4C–Nd2O3 and B4C–TiSi2 systems can be recommended for the manufacture of individual and collective protection elements, armor coatings, structural ceramics, as well as other parts operating under high mechanical loads.

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:

- 1. Іванушко, А.; Гладишевський, Р. Керамічний матеріал B4C: синтез методом іскроплазмового спікання. Вісник Львів. ун-ту. Серія хім. 2024, 65, 102–110. http://dx.doi.org/10.30970/vch.6501.102
- 2. Ivanushko, A.; Gladyshevskii, R. Spark plasma sintering of a mixture of B4C and TiSi2 powders. Chem. Met. Alloys 2025, 18 (1/2), 17–20. https://doi.org/10.30970/cma18.0451
- 3. Ivanushko, A.; Gladyshevskii, R. Structure and mechanical properties of the B4C–CrB2 composite prepared by spark plasma sintering. Chem. Met. Alloys 2025, 18 (3/4), 44–48. https://doi.org/10.30970/cma18.04515
- 4. Ivanushko, A.; Ünsal, H.; Babizhetskyy, V.; Zaremba, O.; Zelinskiy, A.; Miliyanchuk, K.; Tatarko, P.; Gladyshevkii, R. Enhanced B4C-based materials with TiB2 additive prepared by spark plasma sintering. Phys. Chem. Solid State 2026, 27 (2), 272–278. https://doi.org/10.15330/pcss.27.2.272-278
- 5. Іванушко, А.; Бабіжецький, В.; Заремба, О.; Зелінський, А.; Міліянчук, Х.; Гладишевський, Р. Синтез надтвердих композитів B4C–TiB2. Зб. тез. допов. Міжнародної науково-технічної конференції “Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ”, м. Львів, Україна, 17–18 травня 2023 р.; с. 293–294.
- 6. Іванушко, А.; Бабіжецький, В.; Заремба, О.; Зелінський, А.; Міліянчук, Х.; Гладишевський, Р. Синтез, структура та властивості композиту B4C–NdB6. Зб. наук. праць XIX Наукової конференції “Львівські хімічні читання – 2023”, м. Львів, Україна, 29–31 травня 2023 р.; с. H23.
- 7. Ivanushko, A.; Babizhetskyy, V.; Zaremba, O.; Zelinskiy, A.; Miliyanchuk, K.; Gladyshevskii, R. Superhard ceramic material B4C–TiB2. Coll. Abstr. XV International Conference on Crystal Chemistry of Intermetallic Compounds, Lviv, Ukraine, September 25–27, 2023; p. 114.
- 8. Ivanushko, A.; Gladyshevskii, R. Synthesis, crystal structure, and properties of B4C ceramic material. Book Abstr. XXI International Conference on Inorganic Chemistry Ukraine, Uzhhorod, Ukraine, June 3–6, 2024; p.

91.

- 9. Ivanushko, A.; Babizhetskyy, V.; Zaremba, O.; Zelinskiy, A.; Miliyanchuk, K.; Gladyshevskii, R. Spark plasma sintering of the B13C2–VB2 composition. 24th International Conference on Solid Compounds of Transition Elements, Prague, Czech Republic, June 17–21, 2024; p. 154.
- 10. Іванушко, А.; Гладишевський, Р. Іскроплазмове спікання керамічного композиту B4C–CrB2. Зб. наук. праць XX Наукової конференції “Львівські хімічні читання – 2025”, м. Львів, Україна, 2–4 червня 2025 р., с. Н43.
- 11. Ivanushko, A.; Gladyshevskii, R. Superhard ceramic material from B4C and TiSi2 powders. Abstr. 35th European Crystallography Meeting. Lviv – Poznan, Ukraine – Poland, August 25–29, 2025 (Acta Crystallogr. 2025, A81; p. e316). https://doi.org/10.1107/S205327332509686X

Наукова (науково-технічна) продукція: матеріали

Соціально-економічна спрямованість: зменшення зносу обладнання

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Планується до впровадження

Зв'язок з науковими темами: 0125U000767, 0124U001013, 0124U000989, 0121U109766, 0122U201022

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Гладишевський Роман Євгенович

2. Roman E. Gladyshevskii

Кваліфікація: д. х. н., професор, 02.00.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-1320-155X

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 7003433657; Web of Science Researcher ID: A-4144-2015; https://scholar.google.com.ua/citations?user=jbOWpl0AAAAJ

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний університет імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 02070987

Місцезнаходження: вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Гулай Любомир Дмитрович

2. Lubomir D. Gulay

Кваліфікація: д. х. н., професор, 02.00.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-3495-5027

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 7004458695; Web of Science Researcher ID: P-9761-2019; https://scholar.google.com/citations?user=xeAQq2cAAAAJ&hl

Повне найменування юридичної особи: Волинський національний університет імені Лесі Українки

Код за ЄДРПОУ: 02125102

Місцезнаходження: проспект Волі, Луцьк, Луцький р-н., 43025, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Буланова Марина Вадимівна

2. Marina V. Bulanova

Кваліфікація: д. х. н., старший науковий співробітник, 02.00.04

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-8691-0982

Додаткова інформація: https://scholar.google.com/citations?user=xM03phgAAAAJ&hl; Scopus Author ID: 7004177069

Повне найменування юридичної особи: Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05416930

Місцезнаходження: вул. Омеляна Пріцака, Київ, 03142, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Кордан Василь Михайлович

2. Vasyl M. Kordan

Кваліфікація: к. х. н., 02.00.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-8319-5816

Додаткова інформація: Web of Science Researcher ID: GLS-8473-2022; Scopus Author ID: 56662146900; https://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=iupU6HUAAAAJ

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний університет імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 02070987

Місцезнаходження: вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Коник Марія Богданівна

2. Mariya B. Konyk

Кваліфікація: к. х. н., доц., 02.00.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0009-0000-6921-8460

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 6603057828; Web of Science Researcher ID: DAA-0893-2022; https://scholar.google.com/citations?hl=uk&user=a3LwazEAAAAJ

Повне найменування юридичної особи: Львівський національний університет імені Івана Франка

Код за ЄДРПОУ: 02070987

Місцезнаходження: вул. Університетська, Львів, 79000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради	Павлюк Володимир Васильович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Павлюк Володимир Васильович
Відповідальний за підготовку облікових документів	Жак Ольга Володимирівна
Реєстратор	Юрченко Тетяна Анатоліївна
Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності	Юрченко Тетяна Анатоліївна