

**ВІСНОВОК**  
**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів**  
**дисертації Мазіліна Богдана Олександровича**  
**на тему «Структура та механічні властивості комбінованих**  
**нанокомпозитних покріттів на основі керамічних матеріалів»**  
**на здобуття ступеня доктора філософії**  
**за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали**  
**з галузі знань 10 – Природничі науки**

**1. Обґрунтування вибору теми дослідження та її зв'язок із планами наукових робіт університету.**

Актуальність теми дисертаційної роботи обумовлена постійним розвиненням науки і техніки, удосконаленням та інтенсифікацією виробничих процесів, де застосовуються найсучасніші технології та обладнання. Такі технології, обладнання та інструмент висувають все жорстокіші вимоги до матеріалів, які застосовуються у різноманітних процесах у практично всіх галузях матеріального виробництва. Багато в чому це пов'язано з підвищеннем вагомості економічних чинників, розумінням важливості чи навіть необхідності забезпечення екологічності виробництва та ощадного ставлення до ресурсів. Одним з важливих та перспективних шляхів покращення та розширення експлуатаційних можливостей конструкційних та функціональних матеріалів є застосування спеціальних покріттів, оптимізація та обґрунтована спеціалізація яких для застосування за конкретним призначенням в тих або інших технологічних операціях можуть бути основою технічного прогресу у різних сферах.

Додаткового поштовху науковим дослідженням та технологічним прикладним розробкам в матеріалознавській сфері надав перехід на новий ієрархічний рівень будови твердих тіл, а саме перехід до нанорівня, до наноматеріалів та нанотехнологій. За останні 20–30 років в цьому напрямку досягнуто вагомих перемог, але сфера можливого прикладання зусиль дослідників сьогодні залишається практично невичерпною.

Одним з поширених варіантів створення функціональних покріттів є формування на поверхнях різних матеріалів функціональних покріттів, осаджених з іонно-плазмових потоків. Найчастіше для цього застосовують вакуумно-дугові та магнетронні методики. Якщо дво- та трикомпонентні покріття на основі нітриду титану стали вже класичними, то технології створення багатокомпонентних, багатофазних та багатошарових покріттів, в тому числі з елементами наномасштабного рівня, розвиваються та досить активно удосконалюються науковцями різних розвинених (та не тільки) країн.

З огляду на зазначене перспективним виглядає створення фізико-технологічних основ формування плазмових нанокомпозитних функціональних покріттів на основі керамічних сполук та визначення зв'язків структурно-фазового стану покріттів з механічними та фізико-хімічними властивостями композитів «металева підкладинка – покриття».

Актуальність зазначених проблем, їхнє теоретичне та практичне значення зумовили вибір теми дослідження, його мету та завдання.

**Метою роботи** є визначення впливу фізико-технологічних параметрів конденсації на синтез функціональних покріттів на основі керамічних матеріалів, створених осадженням багатоелементних сполук при іонно-плазмовому випаровуванні катодів різного складу. Вагомими фізико-технологічними параметрами процесу осадження покріттів є:

- елементний та фазовий склад катодів-мішеней;
- структурний стан катодів, який обумовлений технічними особливостями їхнього виготовлення;
- вихідний стан підкладинки та процес її підготовки до осадження покріттів;
- склад та тиск газового середовища в камері при формуванні покріттів;
- величина та тип потенціалу зміщення на підкладинці;
- температурно-часові показники випаровування-осадження;
- геометричні характеристики процесу (взаємне розташування технологічних вузлів та підкладинки в камері, рухомість/нерухомість підкладки, кількість катодів-мішеней та ін.)

Для досягнення сформульованої мети необхідно було розв'язати такі завдання:

- визначити вплив умов розпорощення та конденсації (склад та кількість катодів-мішеней, склад та тиск реакційного газу в камері, вид та рівень потенціалу на підкладинці, тривалість осадження) на синтез вакуумнодугових та магнетронних покріттів різного ступеня складності: SiC-AlN; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub>; MoCN; TiZrN/TiSiN; (Ti,Al,Si)N;
- дослідити морфологію поверхні, визначити елементний і фазовий склад синтезованих покріттів на основі керамічних сполук;
- дослідити вплив структурно-фазового стану нанокомпозитних покріттів на їхні фізико-механічні властивості (модуль пружності та твердість);
- вивчити адгезійну взаємодію покріттів з підкладинкою та визначити та триботехнічні характеристики створених функціональних керамічних покріттів.

**Об'єкт досліджень** – комбіновані нанокомпозитні функціональні покріття на основі керамічних матеріалів, сформовані в нерівноважних умовах з іонно-плазмових потоків.

**Предмет досліджень** – закономірності формування певних структурно-фазових станів при синтезі функціональних покріттів на основі керамічних матеріалів конденсацією з іонно-плазмових потоків, шляхи

оптимізації структурно-фазового стану покріттів для підвищення фізико-механічних характеристик.

**Методи формування покріттів, дослідження їхнього структурно-фазового стану та властивостей.** Для вирішення поставлених завдань у роботі використовувався комплекс сучасних технологічних та дослідницьких методів.

Основними технологічними методами були варіанти фізичного вакуумного осадження (PVD), а саме – вакуумно-дугове випаровування та магнетронне розпорощення. Основні технологічні установки – «Булат» (модифікації 1 та 6), ВУП-5М, «НІКА», а також експериментально-технологічна установка для формування покріттів (пристрій ЕТУП). Попередню підготовку підкладинок проводили у лабораторному пристрої для плазмово-електролітного полірування.

Термічну обробку здійснювали у вакуумних печах СШВЕ-1.2,5/25-И2 та VHT 8/22-GR Nabertherm. Відпали у повітрі робили у печах Nabertherm GmbH LHT 04/18 та оригінальний двокамерні печі (розробка кафедри матеріалів реакторобудування та фізичних технологій).

Консолідацію порошкових матеріалів здійснювали вакуумним спіканням (СШВЕ), електроконсолідацією (оригінальний пристрій), іскровим плазмовим спіканням (SPS 25-10).

Для виготовлення катодів-мішеней застосовували механічне різання (токарна та фрезерна обробки, алмазне різання), вакуумно-дугове плавлення, шлікерне ліття з наступною електроконсолідацією, вакуумно-дугову та вакуумну пайку (Булат, СШВЕ).

Структуру поверхонь вивчали з застосуванням оптичної металографії (МИМ-8, Метам Р-1), растрової електронної мікроскопії (FEI Nova NanoSEM 450, JEOL JSM 840, FEI Quanta 600 FEG, FEI Quanta 200 3D), просвітлювальної електронної мікроскопії (JEOL JEM 2100). Для підготовки зразків використовували гідралічний прес гарячого запресування «Bainmount-H Auto» та комплекс пробопідготовки фірми «Struers ApS».

Для визначення елементного складу зразків застосовували енергодисперсійний аналіз (PEGASUS 2000 фірми EDAX), а також вторинну іонну мас-спектрометрію (SIMS, робоча станція «Hiden» з квадрупольним мас-аналізатором «Maxim HAL7»).

Структурні та фазові рентгенівські дослідження виконано дифрактометричним методом (ДРОН-3, ДРОН-4), а дослідження топології покріттів – методом атомно-силової мікроскопії (INTEGRA AURA).

Для досліджень адгезії покріттів застосовано склерометрію (скретч-тестера Revetest RST фірми CSM INSTRUMENTS). Мікротвердість вимірювали за методикою мікро-Віккера на приладах INNOVATEST Falcon 501, DM-8 Affri, Wilson® Instruments 402 MVD, ультрамікротвердомір «Shiumadzu».

Трибологічні характеристики покріттів отримували з застосуванням автоматизованої машини тертя Tribometer CSM Instruments.

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі матеріалів реакторобудування та фізичних технологій Навчально-наукового інституту «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна у відповідності до плану науково-дослідних робіт кафедри. Частину досліджень виконано у співпраці з науковцями низки освітніх та наукових установ України та у межах міжнародної наукової співпраці.

Значну частину результатів здобувачем отримано при виконанні науково-дослідних роботах кафедри матеріалів реакторобудування та фізичних технологій, а саме:

- ДР № 0115U000474 МОН України, 2015-2017 рр., «Структурні ефекти в сильних і електромагнітних взаємодіях та особливості радіаційного впливу на наноструктури» (здобувач – виконавець);
- ДР №0116U000826, МОН України, 2016-2018 рр., «Фізичні та механічні властивості шарових нітридних покріттів на основі багатоелементних сплавів» (здобувач – виконавець);
- ДР № 0118U002023, МОН України, 2018-2020 рр., «Фізичні процеси в обмежених плазмовоподібних середовищах» (здобувач – виконавець);
- ДР № 0118U002028, МОН України, 2018-2020 рр., «Еволюція структури та властивостей вакуумно-дугових багатокомпонентних нітридних покріттів» (здобувач – виконавець);
- ДР № 0118U002026, МОН України, 2018-2020 рр., «Фізичні засади та створення перспективних композитних матеріалів з ультра- та нанорозмірними оксидами нового покоління для роботи в екстремальних умовах» (здобувач – виконавець);
- ДР № 0119U002523, МОН України, 2019-2021 рр., «Фізичні засади адгезійної взаємодії багатокомпонентних покріттів з інструментальною підкладинкою» (здобувач – виконавець);
- ДР № 0121U109810, МОН України, 2021 р., «Технологічні засади формування багатошарових іонно-плазмових покріттів для різального інструменту» (здобувач – виконавець);
- № 2020.02/0234, 2020-2021 рр., Національний фонд досліджень України «Модифікація поверхні твердого тіла під дією плазми та пучків заряджених частинок» (здобувач – молодий виконавець)

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

Дисертаційна робота Мазіліна Богдана Олександровича присвячена вирішенню важливій задачі сучасної прикладної фізики та фізики наноматеріалів, яка полягає у створенні фізико-технологічних основ формування плазмових нанокомпозитних функціональних покріттів на основі керамічних сполук та визначені зв'язків структурно-фазового стану

покріттів з механічними та фізико-хімічними властивостями композитів «металева підкладинка – покріття».

### **3. Наукові положення, розроблені особисто дисертувальником, та їх новизна.**

Наукова новизна результатів дослідження, отриманих особисто дисертувальником, полягає у наступному:

1. Вперше виявлено, що багатошарові покріття TiZrN/TiSiN є композицією нанокристалів TiZrN та нанокристалів TiN, які вбудовані в аморфну матрицю SiN<sub>x</sub>. Для багатошарових покріттів, утворених бішаровими композиціями TiZrN/TiSiN, зафіковано зростання твердості з 24,5 ГПа до 38,2 ГПа при зменшенні періоду бішарової композиції з 85,9 нм до 20 нм. Модуль пружності покріттів змінювався аналогічно твердості, досягши для покріттів з періодом бішару 20 нм рівня 430 ГПа.
2. Вперше показано позитивний вплив попередньо сформованого підшару нітриду розпорошуваного матеріалу мішенні TiZr, TiCr, Cr, Ti на механічні властивості різних типів плазмових покріттів, що містять кремній. Формування підшару практично не змінює твердість, але призводить до підвищення опору механічному руйнуванню та зношуванню. Розроблено фізико-технологічну схему підвищення адгезійної міцності зв'язку покріття з підкладинкою для покріттів типів (TiAlSiY)N/CrN та покріттів TiZrN/TiSiN.
3. Вперше у вакуумно-дугових багатошарових покріттях на основі нітриду (TiAlSiY)N з підшаром мононітриду реалізовано надтвердий стан з твердістю 49,5 ГПа та стійкістю до зношення близько 185 Н. Фізичним фактором утворення надтвердого стану з твердістю 50,5 ГПа карбонітидних покріттів на основі молібдену є сумарний тиск 0,4 Па суміші реакційних газів 80%C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>+20%N<sub>2</sub>.
4. Вперше отримано покріття на основі керамічних матеріалів SiC-AlN, AlN-TiB<sub>2</sub>-TiSi<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub> різного функціонального спрямування. Доведено, що підвищення механічних властивостей покріття Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub> забезпечує нанокристалічний стан з середнім лінійним розміром зерен менше 100 нм, при цьому покріття зберігає високі діелектричні властивості. Досягнутий рівень механічних характеристик та термічної стабільності покріття Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub> є достатнім для застосування таких покріттів як термобар’єри для захисту лопаток турбін авіаційних двигунів.

### **4. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються.**

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, результатів і висновків дисертації забезпечені коректним застосуванням сучасних методів дослідження структурно-фазового стану та властивостей композитів «підкладинка – функціональне покріття» (зокрема, оптичної металографії,

різних варіантів електронної мікроскопії, рентгенівських дифрактометрії та енерго-дисперсійного аналізу, спектрометричних методів, склерометрії, індентування, трибологічних досліджень), а також належною статистичною обробкою експериментальних даних. Отримані результати та зроблені висновки не суперечать сучасним науковим теоріям та положенням та узгоджуються з відомими результатами.

### **5. Рівень теоретичної підготовки здобувача, його особистий внесок у вирішення конкретного наукового завдання. Рівень обізнаності здобувача з результатами наукових досліджень інших учених.**

У процесі виконання наукових досліджень здобувач продемонстрував належний рівень теоретичної підготовки у галузі прикладної фізики та наноматеріалів, зокрема у методах формування функціональних покріттів з іонно-плазмових потоків, у методах дослідження структурно-фазового стану цих об'єктів та їхніх властивостей. Дисертантом самостійно та за безпосередньої участі проведені всі експерименти з формування та випробування зразків з покріттями.

Для вирішення наукового завдання здобувачем було удосконалено низку експериментального технологічного та дослідницького обладнання, зокрема це прилад ВУП-5М, вакуумна піч СШВЕ, двокамерна повітряна піч, металографічний мікроскоп МИМ-8, а також удосконалено методику та програмне забезпечення для напівавтоматичного та автоматичного стереологічного аналізу.

Визначення мети та завдань дослідження, технологічні та дослідницькі схеми експериментів, обговорення та інтерпретація отриманих даних здійснювались спільно з науковим керівником та співавторами наукових публікацій.

Здобувач показав належний рівень обізнаності з результатами наукових досліджень інших учених за темою дисертації.

### **6. Наукове та практичне значення роботи.**

Досліджені в роботі фізико-технологічні основи формування плазмових нанокомпозитних функціональних покріттів на основі керамічних сполук та визначені зв'язки структурно-фазового стану покріттів з механічними та фізико-хімічними властивостями композитів «металева підкладинка – покріття» можуть бути застосовані при розробці функціональних покріттів для захисту елементів обладнання та пристрій різних сфер машинобудування від захисту від зносу та руйнування металевого та надтвердого різального інструменту до термостійких покріттів авіаційно-ракетної техніки.

На основі одержаних при виконанні роботи результатів створені захисні покріття на різальному інструменті, які випробувані в Інституті надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України та продемонстрували

підвищення стійкості інструменту з полікристалічного надтвердого матеріалу на основі кубічного нітриду бору при обробці загартованих сталей у 1,5 рази.

## 7. Використання результатів роботи.

Результати досліджень можуть бути впроваджені в освітній процес підготовки магістрів зі спеціальності 105 – Прикладна фізика та наноматеріали за освітньою програмою «Прикладна фізика» шляхом доповнення та розширення лекційного матеріалу та лабораторних практикумів навчальних дисциплін «Формування та дослідження наноматеріалів», «Функціональні нанокомпозитні покриття», «Сучасні неметалеві та функціональні матеріали».

Розроблені покриття можуть бути рекомендовані до впровадження в технології виробництва різального інструменту з надтвердих матеріалів.

## 8. Повнота викладу матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок здобувача в публікації.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 22 наукових працях, з них 10 статей в фахових виданнях України, що індексуються в наукометричній базі SCOPUS, 2 статті у періодичних наукових виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази SCOPUS, країн, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку, 8 тез доповідей на міжнародних і вітчизняних наукових конференціях та 2 статті, які додатково відображають наукові результати дисертації.

### **Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

#### ***Публікації у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародної наукометричної бази Scopus***

1. Beresnev B. M., Sobol' O. V., Pogrebnyak A. D., Litovchenko S. V., Meylekhov A. A., Nemchenko U. S., Stolbovoy V. A., Evtushenko N. S., Kolesnikov D. A., Kovaleva M. G., **Mazilin B. A.**, Malikov L. V., Protsenko Z. M., Doshchekina I. V. Use of a mixture of gases ( $C_2H_2+N_2$ ) to obtain high-strength molybdenum-based carbonyl nitride coatings. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2017. Vol. 9, Iss. 5. Art. 05043.  
[https://www.doi.org/10.21272/jnep.9\(5\).05043](https://www.doi.org/10.21272/jnep.9(5).05043)  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85032654895&origin=resultslist>  
*(Особистий внесок здобувача: участь у підготовці зразків, проведенні експериментів, аналізі та інтерпретації результатів).*
2. Goncharov I. Y., Kolesnikov D. A., Novikov V. Ju., Kovaleva M. G., Lytovchenko S. V., **Mazilin B. A.**, Horokh D. V., Beresnev V. M., Yanez D. A. D. Investigation of the effect of the composition of residual gases

- on the hardness, adhesion properties and the composition of SiC-AlN coatings deposited by the magnetron sputtering. *Journal of Nano- and Electronic Physics.* 2018. Vol. 10, Iss. 3. Art. 03028.  
[https://doi.org/10.21272/jnep.10\(3\).03028](https://doi.org/10.21272/jnep.10(3).03028)  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85049033872&origin=resultslist>  
*(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків, проведені експериментів, аналіз та інтерпретації результатів, написанні статті).*
3. Lytovchenko S. V., **Mazilin B. A.**, Beresnev V. M., Stolbovoy V. M., Kovalyova M. G., Kristsyna E. V., Kolodiy I. V., Glukhov O. V., Malikov L. V. (TiZr)N/(TiSi)N maitilayer nanostructured coatings obtained by vacuum arc deposition. *Journal of Nano- and Electronic Physics.* 2018. Vol. 10, Iss. 5. Art. 05041.  
[https://doi.org/10.21272/jnep.10\(5\).05041](https://doi.org/10.21272/jnep.10(5).05041)  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85056186335&origin=resultslist>  
*(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків, проведені експериментів, аналіз та інтерпретації результатів, написанні статті).*
4. Mihal O. V., Moroz O. V., Starovoytov R. I., Lytovchenko S. V., **Mazilin B. A.**, Iliushyn L. O. Dynamics of the plasma electrolytic polishing process of austenitic steel AISI 304 in a solution of ammonium sulfate. *Problems of Atomic Science and Technology.* 2018. Vol. 117, Iss. 5. P. 126–131.  
[https://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT\\_2018\\_5/article\\_2018\\_5\\_126.pdf](https://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT_2018_5/article_2018_5_126.pdf)  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85056248243&origin=resultslist>  
*(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків, проведені експериментів, аналіз та інтерпретації результатів, написанні статті).*
5. Beresnev V. M., Lytovchenko S. V., Horokh D. V., **Mazilin B. O.**, Stolbovoy V. A., Kolodiy I. N., Kolesnikov D. A., Grudnitsky V. V., Srebniuk P. A., Glukhov O. V. Tribotechnical properties of (TiZr)N/(TiSi)N multilayer coatings with nanometer thickness. *Journal of Nano- and Electronic Physics.* 2019. Vol. 11, Iss. 5. Art. 05037.  
[https://doi.org/10.21272/jnep.11\(5\).05037](https://doi.org/10.21272/jnep.11(5).05037)  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85075775630&origin=resultslist>  
*(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків, проведені експериментів, аналіз та інтерпретації результатів, написанні статті).*
6. Lytovchenko S. V., Beresnev V. M., Klymenko S. A., **Mazilin B. O.**, Kovaleva M. G., Manohin A. S., Horokh D. V., Kolodiy I. V., Novikov V. U.,

- Stolbovoy V. A., Doshchechkina I. V., Gluhov O. V. Effect of surface pre-treatment on adhesive strength of multi-component vacuum-arc coatings. *East European Journal of Physics*. 2020. Iss. 4. P. 119–126.  
<https://doi.org/10.26565/2312-4334-2020-4-15>  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85098444776&origin=resultslist>  
(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків, проведені експериментів, аналіз та інтерпретації результатів, написанні статті).
7. Kolesnikov D. A., Sudzhanskaya I. V., Goncharov I. Y., Lytovchenko S. V., Novikov V. Y., Kudryavtsev Y. A., **Mazilin B. O.**, Krytsyna Y. V., Beresnev V. M., Glukhov O. V. Production, structure and properties of coatings based on  $\text{Al}_2\text{O}_3$  obtained by magnetron method. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2020. Vol. 12, Iss. 1. Art. 01022.  
[https://doi.org/10.21272/jnep.12\(1\).01022](https://doi.org/10.21272/jnep.12(1).01022)  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85081279937&origin=resultslist>  
(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків, проведені експериментів, аналіз та інтерпретації результатів, написанні статті).
8. Beresnev V. M., Lytovchenko S. V., **Mazilin B. O.**, Horokh D. V., Stolbovoy V. A., Kolesnikov D. A., Kolodiy I. V., Zhanysssov S. Adhesion strength of TiZrN/TiSiN nanocomposite coatings on a steel substrate with transition layer. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2020. Vol. 12, Iss. 4. Art. 04030.  
[https://doi.org/10.21272/jnep.12\(4\).04030](https://doi.org/10.21272/jnep.12(4).04030)  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85090772018&origin=resultslist>  
(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків, проведені експериментів, аналіз та інтерпретації результатів, написанні статті).
9. Beresnev V. M., Sobol O. V., Pogrebnyak A. D., Lytovchenko S. V., Ivanov O. N., Nyemchenko U. S., Srebniuk P. A., Meylekhov A. A., Barmin A. Y., Stolbovoy V. A., Novikov V. Y., **Mazilin B. A.**, Kristsyna E. V., Serenko T. A., Malikov L. V. Single layer and multilayer vacuum-arc coatings based on the nitride TiAlSiYN: Composition, structure, properties. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2017. Vol. 110, Iss. 4. P. 88–96.  
[https://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT\\_2017\\_4/article\\_2017\\_4\\_88.pdf](https://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT_2017_4/article_2017_4_88.pdf)  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85027888445&origin=resultslist>  
(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, аналіз літературних даних, проведені експериментів, інтерпретації результатів, написанні статті).

10. Beresnev V. M., Sobol' O. V., Pogrebnjak A. D., Lytovchenko S. V., Stolbovoy V. A., Srebeniuk P. A., Novikov V. Ju., Doshchekina I. V., Meylehov A. A., Postelnyk A. A., Nyemchenko U. S., **Mazylin B. A.**, Kruhlova V. V. Structure and properties of vacuum arc single-layer and multiperiod two-layer nitride coatings based on Ti(Al):Si layers. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2017. Vol. 9, Iss. 1. Art. 01033.  
[https://doi.org/10.21272/jnep.9\(1\).01033](https://doi.org/10.21272/jnep.9(1).01033)  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85014619856&origin=resultslist>  
*(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків, проведенні експериментів, аналізі та інтерпретації результатів).*

**Публікації у періодичних наукових виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази SCOPUS, країн, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку**

11. Beresnev V. M., Sobol' O. V., Andreev A. A., Gorban' V. F., Klimenko S. A., Litovchenko S. V., Kovteba D. V., Meilekhov A. A., Postel'nik A. A., Nemchenko U. S., Novikov V. Y., **Maziilin B. A.** Formation of Superhard State of the TiZrHfNbTaYN Vacuum–Arc High-Entropy Coating. *Journal of Superhard Materials*. 2018. Vol. 40, Iss. 2. P. 102–109.  
<https://doi.org/10.3103/S1063457618020041>  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85046660034&origin=resultslist>  
*(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків, проведенні експериментів, аналізі та інтерпретації результатів).*
12. Maksakova O. V., Zhanysssov S., Plotnikov S. V., Konarski P., Budzynski P., Pogrebnjak A. D., Beresnev V. M., **Mazilin B. O.**, Makhmudov N. A., Kupchishin A. I. Microstructure and tribomechanical properties of multilayer TiZrN/TiSiN composite coatings with nanoscale architecture by cathodic-arc evaporation. *Journal of Materials Science*. 2021. Vol. 56. P. 5067–5081.  
<https://doi.org/10.1007/s10853-020-05606-2>  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85097022177&origin=resultslist>  
*(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків, проведенні експериментів, аналізі та інтерпретації результатів, написанні статті).*

**Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертацій**

13. **Мазілін Б.О.** Принципи оптимізації структурно-фазового стану композитів молібден – силіцидне покриття. Студентська наукова конференція з прикладної фізики «Актуальні проблеми сучасної фізики»

- до 55-річчя фізико-технічного факультету, 24 листоп. 2017 р. : тези доп. Харків, 2017. С. 43–45.
14. **Мазілін Б. О.** Литовченко С. В. Формування та оптимізація радіаційно-та корозійностійких структур у гетерогенних матеріалах. *XIII Міжнар. наук.-техн. конф. молодих вчених та фахівців «Проблеми сучасної ядерної енергетики»*, 18–20 жовт. 2017 р. : тези доп. Харків, 2017. С. 68–69.  
*(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків, проведені експериментів, аналізі та інтерпретації результатів, усна доповідь).*
15. **Мазілін Б. О.** Високотемпературний синтез складних оксидів при нагріванні вихідних продуктів випромінюванням різної природи. *«Актуальні проблеми сучасної фізики»: Наук. конф. студентів та аспірантів з прикладної фізики до 110-річчя з дня народження академіка В. Є. Іванова*, 23 листоп. 2018 р. : тези доп. Харків, 2018. С. 51–53.
16. **Мазілін Б. О.** Литовченко С. В., Чишкала В. О., Ілюшин Л. О. Твердофазний синтез оксиду  $Y_2Ti_2O_7$  при термообробці з використанням НВЧ-випромінювання. *XIV Міжнар. наук.-техн. конф. молодих вчених та фахівців «Проблеми сучасної ядерної енергетики»*, 14–16 листоп. 2018 р. : тези доп. Харків, 2018. С. 43.  
*(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків, проведені експериментів, аналізі та інтерпретації результатів, усна доповідь).*
17. **Мазілін Б. О.** Литовченко С. В., Чишкала В. О. Синтез складних оксидних наносполуч для перспективних матеріалів ядерної енергетики. *Функціональні матеріали для інноваційної енергетики – ФМІЕ-2019*, 13–15 трав. 2019 р. : тези доп. Київ, 2019. С. 83.  
*(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків, проведені експериментів, аналізі та інтерпретації результатів, постерна доповідь).*
18. **Mazilin B. O.**, Lytovchenko S. V., Beresnev V. M., Horokh D. V. Structure and Properties of AlN-SiC Coatings Obtained by Magnetron Sputtering. *Int. research and practice conf. "Nanotechnology and nanomaterials" NANO-2019*, 27–30 aug. 2019. : abstr. Kiev, 2019. P. 378.  
*(Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків, проведені експериментів, аналізі та інтерпретації результатів, постерна доповідь).*
19. **Mazilin B. O.**, Lytovchenko S. V., Beresnev V. M., Gorokh D. V., Podchernyaeva I. A. Influence of Ceramic Coating Formation Conditions on the Properties of AlN-SiC and AlN-SiC-TiB<sub>2</sub> Systems. *VIII National Student Scientific Conference on Physics and Engineering Technologies with international participation*, 31 oct. – 1 nov. 2019. : abstr. Plovdiv, Bulgaria. 2019. P. 27.

- (Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків, проведені експериментів, аналіз та інтерпретації результатів, постерна доповідь).
20. **Мазілін Б. О.** Литовченко С. В., Береснев В. М., Горох Д. В. Оценка возможности применения плазменных покрытий для защиты элементов энергетических устройств. XV Міжнар. наук.-техн. конф. молодих вчених та фахівців «Проблеми сучасної ядерної енергетики», 13–15 листоп. 2019 р. : тези доп. Харків, 2019. С. 42.  
 (Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків, проведені експериментів, аналіз та інтерпретації результатів, усна доповідь).
- Публікації, які додатково відображають зміст дисертації**
21. Starovoytov R. I., Mihal O. V., Moroz O. V., **Mazilin B. A.**, Donets S. E., Lytvynenko V. V., Lonin Y. F., Ponomarev A. G., Uvarov V. T. Electrolysite-plasma smoothing of relief on targets modified by a high-current relativistic electron beam. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2018. Vol. 118, No. 6. P. 237–240. (Scopus).  
[https://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT\\_2018\\_6/article\\_2018\\_6\\_237.pdf](https://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT_2018_6/article_2018_6_237.pdf)  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85060704122&origin=resultslist>  
 (Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків, проведені експериментів, аналіз та інтерпретації результатів, написанні статті).
22. Chishkala V., Lytovchenko S., **Mazilin B.**, Gevorkyan E., Shkuropatenko V., Voyevodin V., Rucki M., Siemiatkowski Z., Matijošius J., Dudziak A., Caban J. Novel microwave-assisted method of  $Y_2Ti_2O_7$  powder synthesis. *Materials*. 2020. Vol. 13, Iss. 24. P. 1–11. (Scopus).  
<https://doi.org/10.3390/ma13245621>  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85097404555&origin=resultslist>  
 (Особистий внесок здобувача: участь у формулюванні задач дослідження, підготовці зразків, проведені експериментів, аналіз та інтерпретації результатів, написанні статті).

Результати дисертаційної роботи повністю відображені в публікаціях.

**На підставі вивчення тексту дисертації здобувача, наукових праць здобувача та Протоколу контролю оригінальності (перевірку наявності текстових запозичень виконано в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com) встановлено, що дисертаційна робота виконана самостійно, текст дисертації не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної добродетелі.**

## **9. Апробація матеріалів дисертації.**

Основні результати досліджень були представлені, обговорені і опубліковані в тезах доповідей низки вітчизняних та міжнародних наукових конференцій:

- Студентської наукової конференції з прикладної фізики «Актуальні проблеми сучасної фізики» до 55-річчя Фізико-технічного факультету (Харків, Україна, 2017);
- XIII, XIV, XV Міжнародних науково-технічних конференціях молодих вчених та фахівців «Проблеми сучасної ядерної енергетики» (Харків, Україна, 2017, 2018, 2019);
- Наукової конференції студентів та аспірантів з прикладної фізики «Актуальні проблеми сучасної фізики» до 110-річчя з дня народження академіка В. Є. Іванова (Харків, Україна, 2018);
- Наукової конференції «Функціональні матеріали для інноваційної енергетики» (ІМФ ім. Г. В. Курдюмова, Київ, Україна, 2019);
- International Summer School and International research and practice conference “Nanotechnology and nanomaterials NANO-2019” (Lviv, Ukraine, 2019);
- VIII National Student Scientific Conference on Physics and Engineering Technologies with international participation (Plovdiv, Bulgaria, 2019).

## **10. Оцінка мови та стилю дисертації.**

Матеріал дисертації викладено в логічній послідовності в доступній для сприйняття формі. Дисертація написана науковою мовою, стиль роботи відповідає стилю науково-дослідницьких публікацій експериментального спрямування, при викладанні матеріалу застосовано сучасну наукову термінологію. Зміст, структура, оформлення дисертації та кількість публікацій відповідають вимогам «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 06.03.2019 р. № 167 зі змінами), наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій».

## **11. Відповідність змісту дисертації спеціальності з відповідної галузі знань, з якої вона подається до захисту.**

За своїм фаховим спрямуванням, науковою новизною і практичною значимістю дисертаційна робота Мазіліна Б. О. відповідає спеціальності 105 – Прикладна фізика та наноматеріали. Здобувачем повністю виконано освітню та наукову складову освітньо-наукового рівня вищої освіти.

## 12. Рекомендація дисертації до захисту.

Дисертаційна робота Мазіліна Богдана Олександровича на тему «Структура та механічні властивості комбінованих нанокомпозитних покріттів на основі керамічних матеріалів» відповідає вимогам, передбаченим пунктом 10 «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 06.03.2019 р. № 167 зі змінами).

Враховуючи високий рівень виконаних досліджень, актуальність теми роботи, наукову новизну результатів та їх наукове і практичне значення, рішення фахового семінару кафедри матеріалів реакторобудування та фізичних технологій навчально-наукового інституту «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, дисертація Мазіліна Богдана Олександровича на тему «Структура та механічні властивості комбінованих нанокомпозитних покріттів на основі керамічних матеріалів» рекомендується до захисту в спеціалізованій вченій раді для здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали з галузі знань 10 – Природничі науки.

Рецензент  
 професор кафедри матеріалів  
 реакторобудування та фізичних  
 технологій Харківського  
 національного університету імені  
 В. Н. Каразіна, академік НАН  
 України, д.ф.-м.н., проф.

Микола АЗАРЕНКОВ

Рецензент  
 провідний науковий співробітник  
 НДЧ Харківського національного  
 університету імені В. Н. Каразіна  
 к.ф.-м.н., с.н.с.

Сергій БОГАТИРЕНКО

