

Секція: Загальна фізика

Назва пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки згідно з Законом України: (згідно із Законом України від 12.10.2010 № 2519-17) 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;

Назва напрямку секції: 4. Фізика твердого тіла

Назва піднапрямку секції 4.9: Домішки та їхні агрегати, їхня динаміка та перебудова, сегрегаційні явища у твердих тілах та на їхній поверхні;

4.12. Фізичні властивості низько вимірних систем. Фізичні основи цілеспрямованого формування складу та структури матеріалів у компактному та низьковимірних станах, що мають нові корисні властивості.

ЗВІТ ЗА ЕТАПОМ 2015 РОКУ

за науково-дослідною роботою

(Характер НДР: **фундаментальне дослідження**)

1. Тема НДР: Розробка матеріалознавчих основ структурної інженерії вакуумно-плазмових надтвердих покриттів з метою досягнення необхідних функціональних властивостей.

2. Керівник НДР: Погребняк Олександр Дмитрович

3. Номер державної реєстрації НДР: 0115U000685

4. Назва вищого навчального закладу: Сумський державний університет

5. Терміни виконання: початок - 01.2015, закінчення - 12. 2017.

6. Наукові результати.

1. Визначена сукупність взаємодоповнюючих методів дослідження, що дозволяє проаналізувати зміну морфології поверхні покриттів, елементного складу та його перерозподілу по глибині, структурно-фазових перетворень в залежності від режимів осадження (зміна потенціалу зсуву, тиску робочого газу) багатоелементних та багатокомпонентних нітридних покриттів на основі Ti, Hf, Zr, Nb, V, Si, Al, Y, Ta, W, Mo елементів.

2. Експериментальні та теоретичні дослідження Nb-Al-N покриттів показують, що плівки, отримані при вибраних параметрах осадження, мають нанокompatитну структуру і складаються з нанокристалітів $B1-NbN_z$ і $B1-Nb_{1-x}Al_xN_yO_{1-y}$, впроваджених в матрицю $\alpha-AlNO$. Нанокompatитні покриття в результаті мікродеформацій, що виникають через розходження атомних радіусів металевих складових кристалічних решіток, мають високі значення твердості (до 32GPa).

3. Показано, що при зміні потенціалу, що подається на підкладку, змінюється стехіометрія в Ti-Hf-Si-N покритті і утворюються або дві фази (Ti, Hf) N - твердий розчин, $\alpha-Si_3N_4$ квазіаморфна фаза, або одна (твердого розчину). Сформовані нанокompatитні покриття, отримані за допомогою катодного вакуумно-дугового осадження, у разі формування двох фаз мають більш високу твердість і дуже гарні трибологічні характеристики, а також досить високу адгезію до підкладки.

7. Результати етапів (відповідно до технічного завдання):

Номер етапу	Назва етапу згідно з технічним завданням.	Заплановані результати етапу	Отримані результати етапу
1.	Фазовий склад, електронна структура та елементний склад багатоелементних та багатошарових систем нано-	Результати досліджень впливу параметрів осадження на електронну структуру та стехіометрію досліджуваних покриттів.	1. За результатами роботи у 2015 році були встановлені кореляційні залежності між параметрами осадження та досліджуваними власти-

	<p>розмірного масштабу . Дослідження електронної структури та стехіометрії отриманих покриттів, а також проведення фазового аналізу за допомогою ПЕМ, в залежності від умов осадження.</p>	<p>Будуть встановлені кореляційні залежності між параметрами осадження та досліджуваними властивостями покриттів. Будуть знайдені параметри осадження для отримання покриттів із найбільш оптимальною стехіометрією та фазовим складом.</p>	<p>востями покриттів. Виявлено, що зміна тиску азоту при осадженні покриття впливає на розміри нанокристалітів та орієнтацію плоскостей структури, так збільшення тиску азоту призводить до покращення індексу пластичності, що свідчить про чудову стійкість до зносу та збільшення твердості покриття. 2. Встановлено вплив товщини нанорозмірного шару на зміну структури і властивостей нанокомпозитних багат шарових покриттів TiN/MoN. За допомогою методу Arc-PVD були отримані багат шарові покриття TiN/MoN з товщиною шару 2, 10, 20 і 40 нм. Виявлено формування двох фаз TiN (ГЦК) і γ-Mo₂N. Максимальне значення твердості, отримане для різних товщин шарів, не перевищує 28-31 ГПа. У наноструктурних багат шарових покриттях при товщинах шару 10 і 20 нм спостерігається найменше значення коефіцієнта тертя 0.09-0.12.</p>
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

8. Результативність виконання науково-дослідної роботи

	Показники	Виконано (за результатами НДР) кількість
1.	<p>Публікації виконавців за тематикою НДР: 1.1. Статті у журналах, що входять до наукометричних баз даних Scopus, Web of Science та/або Index Coperricus (для соціогуманітарних наук). 1.2. Публікації в матеріалах конференцій, що входять до наукометричних баз даних, які вказані у п. 1.1. 1.3. Статті у журналах, що включені до переліку наукових фахових видань України та, які не зазначені у а. 1.1. 1.4. Публікації у матеріалах конференцій та виданнях, що не включені до переліку наукових фахових видань України. 1.5. Монографії, опубліковані за рішенням Вченої ради ВНЗ.</p>	<p>9 18 5 4</p>

	1.6. Підручники, навчальні посібники.	1
2.	Підготовка наукових кадрів: 2.1. Захищено докторських дисертацій за тематикою НДР. 2.2. Подано до розгляду спеціалізовану вчену раду докторських дисертацій за тематикою НДР. 2.3. Захищено кандидатських дисертацій за тематикою НДР. 2.4. Подано до розгляду у спеціалізовану вчену раду кандидатських дисертацій за тематикою НДР. 2.5. Захищено магістерських робіт за тематикою НДР.	2 4
3.	Охоронні документи на об'єкти права інтелектуальної власності створені за тематикою НДР: 3.1. Отримано патентів (свідоцтв авторського права) України. 3.2. Подано заявок на отримання патенту України. 3.3. Отримано патентів (свідоцтв авторського права) інших держав. 3.4. Подано заявок на отримання патенту інших держав.	
4.	Участь з оплатою у виконанні НДР: 4.1. Студентів. 4.2. Молодих учених та аспірантів.	4 4

9. Бібліографічний перелік монографій, підручників, посібників, наукових статей, інших публікацій; подані заявки та отримані патенти; теми захищених та поданих до розгляду у спеціалізовану вчену раду дисертацій (за матеріалами досліджень за звітний період).

Перелік посібників і монографій:

1. V. M. Beresnev, I. N. Torianyk, A. D. Pogrebnyak, O. V. Bondar, M. Bilokur, O. V. Sobol, D. A. Kolesnikov, S. V. Lytovchenko and P. V. Turbin Structure and Physical and Mechanical Properties of Nanocomposite (Zr-Ti-Cr-Nb)N and (Ti-Zr-Al-Nb-Y)N Coatings, Obtained by Vacuum-Arc Evaporation Method// Nanocomposites, Nanophotonics, Nanobiotechnology, and Applications, p. 75-85, Selected Proceedings of the Second FP7 Conference and International Summer School Nanotechnology: From Fundamental Research to Innovations, August 25-September 1, 2013, Bukovel, Ukraine.
2. A.D. Pogrebnyak, S.N. Bratushka, O.V. Bondar, D.L. Alontseva, S.V. Plotnikov, and O.M. Ivasishin Nanocoatings: Nanomaterials and Nanostructures Coatings Fabrication Using Detonation and Plasma Detonation Techniques// CRC Concise Encyclopedia of Nanotechnology, 2015, p.600-623, United Kindom.
3. A.D. Pogrebnyak, O.V. Bondar, N.A. Azarenkov, V.M. Beresnev, O.V. Sobol, and N.K. Erdybaeva Nanocoatings: Technology of Fabrication of Nanostructure (Nanocomposite) Coatings with High Physical and Mechanical Properties Using C-PVD// CRC Concise Encyclopedia of Nanotechnology, p.624-652, 2015, United Kindom.
4. Лобода В.Б., Погребняк О.Д., Хурсенко С.М., Кравченко В.О., Салтикова А. Т., Шкурдода Ю.О.Лабораторний практикум до ВІМС. Видавництво СумДУ, 223стр., 2015.

Статті у журналах, що входять до наукометричної бази даних Scopus:

1. A.D. Pogrebnyaka, O.V. Bondar, G. Abadias, D. Eyidi, V.M. Beresnev, O.V. Sobol, B.O. Postolnyi and P. Zukowski Investigation of Nanoscale TiN/MoN Multilayered Systems, Fabricated Using Arc Evaporation// Acta Physica Polonica A, Vol.128. - №5. p.836.– 2015. (IF=0.53).
2. O.V. Bondar, B.O. Postolnyi, Yu.A. Kravchenko, A.P. Shpylenko, O.V. Sobol, V.M. Beresnev, A.P. Kuzmenko and P. Zukowski Fabrication and Research of Superhard (Zr-Ti-Cr-Nb)N Coatings // Acta Physica Polonica A. Vol.128. - №5. p. 867. – 2015. (IF=0.53).

3. V.I. Ivashchenko, P.L. Scrynskyy, O.S. Lytvyn, V.M. Rogoz, O.V. Sobol, A.P. Kuzmenko, H. Komsta and C. Karvat Investigation of NbN and Nb-Si-N Coatings Deposited by Magnetron Sputtering // *Acta Physica Polonica A*, Vol.128. - №5. – p.949. – 2015. (IF=0.53).
4. A.D. Pogrebnyak O.V. Bondar N.K. Erdybaeva S.V. Plotnikov P.V. Turbin S.S. Grankin V.A. Stolbovoy O.V. Sobol D.A. Kolesnikov C. Kozak Influence of thermal annealing and deposition conditions on structure and physical-mechanical properties of multilayered nanosized TiN/ZrN coatings // *Przegląd Elektrotechniczny*, №12 p.228.-2015.(IF=0.18).
5. O.V. Bondar, V.A. Stolbovoy, M. K. Kylyshkanov, S.V. Plotnikov, N.K. Erdybaeva, K. Piotrowska, K. Czarnacka, C. Karwat Dependence of mechanical and tribotechnical properties of multilayered TiN/ZrN coatings on deposition // *Przegląd Elektrotechniczny*, №12.- pp.233. – 2015. (IF=0.18)
6. А.Д. Погребняк, И.В. Якущенко, О.В. Бондар, О.В. Соболев, В.М. Береснев, К. Ойоси, Н. Аmekura, Y. Takeda Влияние имплантации ионов Au на структуру и механические свойства многоэлементного наноструктурного покрытия (TiZrHfVNbTa)N// ФТТ, 2015, т.57,вып.8, стр.15-29-1534. (IF=0.821).
7. A.D. Pogrebnyak, I.V. Yakushchenko, V.M. Beresnev, A.I. Kupchishin, O.V. Bondar, M.A. Lisovenko, H. Amekura, K. Kono, K. Oyoshi, Y. Takeda Influence of Residual Pressure and Ion Implantation on the Structure, Elemental Composition and Properties of (TiZrHfVNbTa)N// *Technical Physics*, V.60. - №8. P.1176-1183. – 2015. (IF=0.59)
8. V. I. Ivashchenko, P. L. Skrynskii, O. S. Litvin, A. D. Pogrebnyak, V. N. Rogoz , G. Abadias, O. V. Sobol', A. P. Kuz'menko Structure and properties of nanostructured NbN and Nb-Si-N films depending on the conditions of deposition: Experiment and theory// *Phys. Met. Metallogr.*, 2015, V.116. – No. 10, pp. 1015-1028. (IF=0.761).
9. A.D. Pogrebnyak, A.A. Demianenko, A.V. Pshik, Yu.A. Kravchenko, O.V. Sobol', V.M. Beresnev, H. Amekura, K. Kono, K. Oyoshi et.al. Structural features and physico-mechanical properties of AlN-TiB₂-TiSi₂ amorphous-like coatings(IF=0.573). 10. Influence of residual pressure and ion implantation on the structure, elemental composition, and properties of (TiZrAlYNb)N nitrides// *J. Superhard. Mater*, 2015, V.37. – pp.310-321. (IF=0.524).
11. V. I. Ivashchenko, A. D. Pogrebnyak , O. V. Sobol', P. L. Skrynskii, V. N. Rogoz, A. A. Meilekhov, S. N. Dub, A. I. Kupchishin Structure and properties of nanocomposite Nb-Al-N films// *Phys. Solid. State*, 2015, V.57. – No. 8. - pp.1642-1646. (IF=0.821).
12. A.D. Pogrebnyak , I.V. Yakushchenko, O.V. Bondar, O.V. Sobol', V.M. Beresnev, K. Oyoshi, H. Amekura, Y. Takeda Influence of implantation of Au– ions on the microstructure and mechanical properties of the nanostructured multielement (TiZrHf VNbTa)N coating// *Phys. Solid. State*, 2015, V.57. – No.8. – pp. 1559-1564. (IF=0.821).
13. V. I. Ivashchenko, A. D. Pogrebnyak , O. V. Sobol', V. N. Rogoz, A. A. Meilekhov, S. N. Dub, A. I. Kupchishin The effect of Al target current on the structure and properties of (Nb₂Al)N films with an amorphous AlN phase// *Tech. Phys. Lett.* 2015, V.41. – No.7. – pp. 697-700. (IF=0.574).
14. A. D. Pogrebnyak , B. A. Postol'nyi, Yu. A. Kravchenko, A. P. Shipilenko, O. V. Sobol', V. M. Beresnev, A. P. Kuz'menko Structure and properties of (Zr-Ti-Cr-Nb)N multielement superhard coatings// *J. Superhard Mater.* 2015, V. 37. – No.2. – pp. 101-111. (IF=0.573).

Статті у матеріалах конференцій, що входять до наукометричної бази даних Scopus:

1. Beresnev V.M., Torianyk I.N., Pogrebnyak A.D., Bondar O.V., Bilokur M., Sobol O.V., Kolesnikov D.A., Lytovchenko S.V., Turbin, P.V. Structure and physical and mechanical Properties of nanocomposite (Zr-Ti-Cr-Nb)N and (Ti-Zr-Al-Nb-Y)N coatings, obtained by vacuum-arcevdaporation method // *Springer Proceedings in Physics*, Vol. 156, 2015, Pages 75-84. (2nd FP7 Conference and International Summer School Nanotechnology: From Fundamental Research to Innovations, 2015; Bukovel; Ukraine; 25 August 2015 through 1 September 2015).
2. O. Bondar, I. Yakushchenko, Y. Takeda Changes of microstructure and mechanical properties of multielement nanostructured (tizrhfvnbtan) coatings under au⁺ ion implantation// 25-th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, 2015, p.691. Ukraine.
3. A.D. Pogrebnyak, O.V. Bondar, I.V. Yakushchenko, C. Kozak, K. Czarnacka. Influence of high-dose ion implantation on structure and properties of nitrides of high-entropy alloys // 9th International Conference “New electrical nad electronic technologies and their industrial implementation” NEET-2015, Zakopane, Poland, June 23-26, 2015. P 146.

4. Pogrebnyak A.D., Borba S., Levintant-Zayonts N., Plotnikov S.V., Tleukenov Y.O., Komsta H. Effect of N ions high doses on the Microstructure elemental composition and mechanical properties of (Ti, Hf, Zr, Nb, V, Ta, N) nanostructures coatings// 9th International Conference “New electrical and electronic technologies and their industrial implementation” NEET-2015, Zakopane, Poland, June 23-26, 2015. p. 148.
5. Pshyk A.V., Coy E., Pogrebnyak A.D., Zaleski K., Peplinska B., Jurga S., Nowaczyk G. Thermal stability and oxidation resistance of amorphous TiAlBSiN nanocomposite coating// 9th International Conference “New electrical and electronic technologies and their industrial implementation” NEET-2015, Zakopane, Poland, June 23-26, 2015, p. 67.
6. Shypylenko A.P., Oyoshi K., Maksakova V., Sobol' O.V., Ponomarova A.A., Romanenko O.V., Berestnev V.M., Jurga S. Structure and mechanical properties of Coatings based on (Ti, Hf, Nb, Si)N, before and after the thermal treatment// 9th International Conference “New electrical and electronic technologies and their industrial implementation” NEET-2015, Zakopane, Poland, June 23-26, 2015, p. 65.
7. A.D. Pogrebnyak, I.V. Yakushchenko, O. V. Bondar, V.M. Beresnev, K. Oyoshi, O.R. Ivasishin, H. Amekura, Y. Takeda, Marek Opielak, Czesław Kozak Implantation of Au-Ions Into the Nanostructured (TiZrHfVNbTa)N Coatings and its Influence on the Microstructure and Properties of the Coatings, 22nd International Symposium on Metastable, Amorphous and Nanostructured Materials, p.405, 13-17 July, 2015, Paris, France,
8. Ivashenko V.I., Pogrebnyak A.D., Skrynski P.L., Rogoz V.N., Plotnikov S.V., Erdybaeva N.K., Tleukenov E.O. The Structure and mechanical properties of nanocomposite films Nb–Al–N and NbSiN// 9th International Conference “New electrical and electronic technologies and their industrial implementation” NEET-2015, Zakopane, Poland, June 23-26, 2015, p. 25.
9. A.D. Pogrebnyak, I.V. Yakushchenko, O.V. Bondar, V.M. Beresnev, K. Oyoshi, H. Amekura, Y. Takeda, B.O. Postolnui, Implantation of Au-Ions Into the Nanostructured (TiZrHfVNbTa)N Coatings and its Influence on the Microstructure and Properties of the Coatings, Symposium "Advanced Materials Synthesis, Processing and Characterization. Protective coatings and thin films", European Materials Research Society (E-MRS) Spring Meeting, Lille, France, 11-15 May 2015.
10. Погребняк, А.Д. Демьяненко, А.А. Смирнова, Е.В. Процессы образования сфероидных частиц золота и формирование нанофаз в покрытии AlN-TiB₂-TiSi₂ после отжига с последующей имплантацией// 11-я Международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», стр. 264, 23-25 сентября 2015 г., Минск, Беларусь.
11. Тлеукунов Е.О., Плотников С.В., Ердьбаева Н.К., Погребняк А.Д. Триботехнические свойства многослойных наноструктурированных ионно-плазменных покрытий// 11-я Международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», стр. 371, 23-25 сентября 2015 г., Минск, Беларусь.
12. Ескермесов, Д.К. Плотников, С.В. Погребняк, А.Д. Ердьбаева, Н.К. Изучение структур и физико-механических свойств многоэлементных нитридных покрытий на основе (Ti-Zr-Cr-Nb)N, 11-я Международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», стр. 346, 23-25 сентября 2015 г., Минск, Беларусь.
13. Demianenko A., Opielak M., Komsta H., Influence of Au⁻ Negative Ion Beam Implantation on Annealed at 1300C AlN-TiB₂-TiSi₂ Coating// 9th International Conference “New electrical and electronic technologies and their industrial implementation” NEET-2015, Zakopane, Poland, June 23-26, 2015, p. 45.
14. Plotnikov S.V., Pogrebnyak A.D., Yeskermessov D.K., Yerokhina L.N., Opielak M. Researching of high entropy (Ti-Zr-Nb)N coatings' physical and mechanical properties obtained by vacuum-arc deposition method// 9th International Conference “New electrical and electronic technologies and their industrial implementation” NEET-2015, Zakopane, Poland, June 23-26, 2015, p. 39.
15. Кравченко Я.О., Гончаров А.А., Лисовенко М. А. Влияние термического отжига и условий осаждения на структуру и механические свойства многослойных нитридных покрытий на основе Ta// 25-th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, 2015, p.675. Ukraine.
16. Иващенко В. И., Рогоз В. Н., Скрынский П. Л. Зависимость фазового состава и субструктурных характеристик покрытий Nb-Al-N от параметров осаждения// 25-th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, 2015, p.673. Ukraine.
17. Багдасарян А. А., Бережная О. В., Немченко У. С., Гончаров А. А., Якущенко И. В. Структура и физико-механические свойства (Ti-Zr-Nb-Cr-Si)N покрытий, полученных вакуумно-дуговым осаждением// 25-th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, 2015, p.677. Ukraine.

18. Демьяненко А. А., Смирнова Е.В., Такеда Й., Гончаров А.А. Влияние ионной имплантации Au- на покрытия AlN-TiB₂(TiSi₂) После отжига при 1300°C// 25-th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, 2015, p.670. Ukraine.

10. Використання результатів НДР у навчальному процесі та/або в промисловості (інших галузях):

1. Результати НДР були включені в якості додаткового матеріалу в навчальний процес при викладанні дисциплін: «Наноматеріали та нанокompозити», «Вплив умов осадження на властивості нанокompозитних покриттів» та «Структура та властивості отримані вакуумно-дуговим методом» в рамках підготовки студентів за ОКР «Мікро- та наноелектроніка».
2. Результати досліджень використовуються при викладанні індивідуальної «Методи аналізу нанокompозитів» для 5 -го курсу.
3. На Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт за напрямком "Машинознавство", де студентка 4-го курсу отримала диплом першого ступеня.
4. Студенти взяли участь у роботі науково-технічної конференції «Фізика, Електроніка, Електротехніка 2015»», що проводиться СумДУ, зробили 2 доповіді.
4. Результати НДР були використані студентом 5 – го курсу при підготовці доповіді на міжнародній конференції «Nanomaterials: Applications and Properties-2015».

11. Опис інших видів діяльності у рамках НДР.

1. Проводиться співпраця з університетами: Adam Mickiewicz University. NanoBiomedicsl Centre, Universidade do Porto, Portugal, National Institute for Material Science, Tsukuba, Ibaraki, Japan, у яких молоді вчені та аспіранти проводять дослідження за тематикою НДР та відбувається подвійне керівництво останніх.
2. Водночас із тим, що О.Д. Погребняк є керівником теми НДР, він є постійним рецензентом журналів під видавництвом «Elsevier», за що нагороджений двома відзнаками: Загальноновизнаний рецензент журналу “Surface&Coatings Technology” 2015 року та Видатний рецензент (топ 10 рецензентів) журналу Applied Surface Science 2015 року, а також є рецензентом журналів “Thin Solid Films” та “Material and Design”.
3. Керівник теми НДР О.Д. Погребняк співпрацює з Люблінською Політехнікою (Польща), як запрошений професор для викладання курсу лекцій, що відображають сучасні досягнення в отриманні нанокompозитних, наноструктурних та багатошарових покриттів з високими показниками твердості, стійкості до зносу та корозії, які буди виконані в рамках держбюджетної тематики НДР.
4. Керівника теми НДР О.Д. Погребняка, за активну співпрацю у науковій діяльності, а саме керівництво аспірантами, докторантами, публікацію наукових статей, а також викладання курсу лекцій, в яких відображені нові досягнення в області отримання багатошарових, нанокompозитних покриттів у рамках тематики НДР, нагороджено званням почесного професора Східно-Казахстанського державного університету ім. Серикбаєва.

12. Кількість штатних співробітників 2, кількість сумісників 5, молодих учених з оплатою 3, кількість студентів з оплатою 4, які брали участь у виконанні НДР

13. Рішення наукової ради від 2015.11.26 протокол № 3 про затвердження звіту

Керівник роботи:

_____ Погребняк О.Д.
підпис

Проректор із наукової роботи:

_____ Черноус А. М.
підпис

МП