

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
професору Ігорю ГРЦІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

ВІДГУК

офіційного опонента, начальника лабораторії «Іонно-плазмової обробки матеріалів», старшого наукового співробітника «Харківського фізико-технічного інституту НАН України, кандидата технічних наук (спеціальність 01.04.07 – фізика твердого тіла) **Купріна Олександра Сергійовича** на дисертаційну роботу **Гороха Дениса Валерійовича** «Закономірності формування, особливості структури та властивості іонно-плазмових нітридних покриттів TiSiN/NbN та TiSiN/CrN», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

1. Актуальність теми дисертації.

Створення захисних покриттів із новими властивостями є одним із важливих завдань сучасного матеріалознавства. Прикладне значення вивчення умов створення, будови та властивостей покриттів обумовлене широким спектром їх потенційного застосування. Нанорозмірна внутрішня структура нових покриттів може дозволити розширити спектр їх використання в сучасній промисловості. Одним із пріоритетних напрямків застосування покриттів є поверхневе зміцнення деталей машин, різального та формувального інструменту.

Методи фізичного осадження з газової фази (PVD) покриттів, до яких відноситься вакуумно-дуговий метод та метод магнетронного осадження інтенсивно досліджуються та впроваджуються у всіх індустріально розвинених країнах світу. Сучасні підходи полягають у створенні багатошарових та багатокомпонентних покриттів, а також в одночасному використанні цих двох підходів. Багатошарові покриття, де кожен шар виконує свою функцію і забезпечує плавний перехід фізико-механічних властивостей покриття від поверхні до основи дають змогу багаторазово підвищити довговічність деталей машин. Визначення впливу складу та структури на фізико-механічні властивості покриттів є важливою проблемою сучасною фізики поверхні та фізичного матеріалознавства.

У зв'язку з вищезазначеним тема дисертації Гороха Дениса Валерійовича «Закономірності формування, особливості структури та властивості іонно-плазмових нітридних покриттів TiSiN/NbN та TiSiN/CrN», в якій вирішується задача визначення умов формування нітридних багатошарових захисних покриттів та розробки рекомендацій стосовно конкретних фізико-технологічних процесів їхнього осадження, є **актуальною**.

Актуальність та наукове значення теми дисертації підтверджуються тим, що результати отримані здобувачем за його безпосередньої участі у проведенні

та виконанні планових наукових досліджень кафедри матеріалів реакторобудування та фізичних технологій Навчально-наукового інституту «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

2. Основні наукові та практичні результати дисертації та їх новизна.

У дисертаційній роботі експериментально визначенні закономірності формування плазмових нанокompозитних шаруватих покриттів на основі багатофазних і багатоелементних систем (TiSi)N/NbN та (TiSi)N/CrN.

Серед наукових результатів роботи, які були одержані вперше слід відзначити наступні:

- встановлено, що збільшення потенціалу зсуву від -100 до -200 В при стабільному тиску робочого газу 0,53 Па призводить до збільшення параметрів кристалічних ґраток TiN і δ -NbN, розмірів кристалітів і рівня мікронапружень, а також до формування переважаючого росту текстури в площині (200).

- показано, що максимальні значення твердості отримано за потенціалу зсуву -200 В і тиску робочого газу 0,53 Па, які становлять: твердість 34,4 ГПа, модуль Юнга 412 ГПа, відношення H/E^* 0,083 і відношення H^3/E^{*2} 0,23.

- показано, що в багатошарових покриттях (TiSi)N/CrN наночарова періодична структура шарів є рівномірною, плоскою і не містить видимих дефектів. Найменший розмір кристалітів становить 12,9 нм для шарів (TiSi)N і 13,7 нм для CrN. Така нанорозмірна структура забезпечує максимальне значення твердості 31,1 ГПа і модуль Юнга 298 ГПа.

- встановлено, що міцність зчеплення багатошарового покриття (TiSi)N/CrN вища на 10 % порівняно з одношаровими покриттями (TiSi)N та/або CrN. Багатошарова структура зменшує механізми тертя, тобто коефіцієнт тертя покриття (TiSi)N/CrN становить 0,35, тоді як для (TiSi)N - 0,55.

- показано, що відпал багатошарових покриттів (TiSi)N/CrN при 400 °С і 700 °С призводить до незначного збільшення розміру ОКР ґратки, але не спостерігається зміни текстури. Параметри ґратки кубічних нітридів TiN і CrN та нітриду Ti₂N збільшуються при 400 °С, а при 700 °С зменшуються. Твердість покриттів досить висока (27,8 ÷ 31,1) ГПа. Після відпалу при 400 °С твердість зростає до (29,1 ÷ 32,8) ГПа, тоді як підвищення температури до 700 °С дещо знижує твердість до (28,8 ÷ 30,9) ГПа. Досягнуте високе значення $H/E \approx 0,1$ вказує на хорошу ударну в'язкість покриттів при збереженні високої твердості.

Найважливішими практичними результатами дисертаційної роботи Гороха Д.В. є:

- поглиблення та розширення уявлень про закономірності утворення та функціонування зв'язків в ланцюгу «інструментальна підкладинка - функціональне захисне покриття»;

- зразки виготовлених покриттів на інструментальних підкладинках випробуванні в умовах, що відповідають реальним виробничим процесам (в Інституті Надтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля НАН України).

3. Достовірність отриманих в роботі результатів. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Достовірність наукових результатів дисертаційної роботи забезпечена використанням сучасних дослідницьких методик: растрової електронної мікроскопії, енергодисперсійного елементного аналізу, рентгенівської дифрактометрії, мікроіндентування, скретч тестування, трибометрії, які проведені на сучасному обладнанні. Наукові положення дисертації ґрунтуються на сучасних уявленнях фізики твердого тіла, а результати та висновки досліджень не суперечать та узгоджуються із загальноприйнятими теоретичними та експериментальними даними.

4. Повнота викладення основних наукових і практичних результатів в опублікованих наукових працях.

Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи Д.В. Гороха в повному обсязі опубліковані у 8 наукових працях фахових виданнях України, що індексуються в наукометричній базі «Scopus», та 5 тезах доповідей на міжнародних і вітчизняних наукових конференціях.

Відповідність вимогам академічної доброчесності. Наведені в дисертації результати є новими, робота не містить запозичених даних інших авторів без належних посилань на їхні дослідження, тобто робота відповідає умовам академічної доброчесності.

5. Зауваження до тексту дисертації:

1. Відсутнє обґрунтування вибору параметрів осадження (струм розряду, тиск азоту в камері, потенціал на підкладці) вакуумно-дугових багат шарових покриттів (TiSi)N/CrN та (TiSi)N/NbN.

2. В розділі 3 наведено дані по дослідженню структури та трибологічним властивостям магнетронних покриттів Ti-B-C та AlN-TiB₂-TiSi₂, а також вакуумно-дугових покриттів Ti-Si-N: Ti-Zr-Si-N. Нажаль в розділі 2 відсутні дані по умовах синтезу цих покриттів.

3. Автор наводить таку механічну характеристику покриттів, як модуль Юнга, однак необхідні пояснення, яким чином була виміряна ця величина. В розділі 2.3 ця інформація відсутня.

4. На сторінці 92 автор наводить розрахунки відношення H/E^* (пружна деформація руйнування) та H^3/E^{*2} (опір пластичній деформації) в яких використовує величину E^* без відповідного пояснення та значень цієї величини.

5. На сторінці 107, у підпису до рисунку 5.5 використано фразу «Візуальне моделювання еволюції мікроструктури покриттів TiSiN...», яку краще замінити на «Модель мікроструктури...».

Наведені зауваження не зменшують достовірність та цінність одержаних наукових результатів, а також не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

6. Загальні висновки по роботі.

Дисертаційна робота Гороха Д.В. «Закономірності формування, особливості структури та властивості іонно-плазмових нітридних покриттів TiSiN/NbN та TiSiN/CrN», є актуальним завершеним науковим дослідженням, що має наукову новизну та практичне значення. За своєю спрямованістю та

змістом дисертаційна робота повністю відповідає спеціальності 105 – Прикладна фізика та наноматеріали, галузі знань 10 – Природничі науки, а також вимогам наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. №

40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» та положенням Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого

Постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. №167 (зі змінами згідно Постановами КМ №979 від 21.10.2020 та №608 від 09.06.2021).

Враховуючи актуальність, обґрунтованість наукових положень висновків, наукову новизну та практичну значущість дисертаційної роботи, вважаю, що Горох Денис Валерійович заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

Кандидат технічних наук,
начальник лабораторії
«Іонно-плазмової обробки матеріалів»,
старший науковий співробітник
Національний науковий центр
«Харківський фізико-технічний інститут»

Олександр КУПРІН

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 18:44:38 27.01.2024

Назва файлу з підписом: ВІДГУК .pdf
Розмір файлу з підписом: 206.6 КБ

Перевірені файли:
Назва файлу без підпису: ВІДГУК .pdf
Розмір файлу без підпису: 172.6 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: КУПРІН ОЛЕКСАНДР СЕРГІЙОВИЧ

П.І.Б.: КУПРІН ОЛЕКСАНДР СЕРГІЙОВИЧ

Країна: Україна

РНОКПП: 3037713511

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 18:44:38 27.01.2024

Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"

Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000A9F7440146FCC604

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підписаний PDF-файл (PAdES)

Формат підпису: З позначкою часу від ЕП (PAdES-B-T)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2023.12.21 13:00

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
професору Ігорю ГІРЦІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

ВІДГУК

офіційного опонента, Завідувач кафедри електроніки, загальної та прикладної фізики Сумського державного університету, доктора фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем) **Однодворець Лариси Валентинівни** на дисертаційну роботу **Гороха Дениса Валерійовича** «Закономірності формування, особливості структури та властивості іонно-плазмових нітридних покриттів TiSiN/NbN та TiSiN/CrN», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Для вирішення сучасних матеріалознавчих завдань необхідні матеріали з високою міцністю та можливістю експлуатації при високих температурах. Найчастіше конструкційні метали і сплави не можуть забезпечити необхідної надійності виробів в умовах високих навантажень і підвищених температур. Ефективним рішенням даних проблем для підвищення експлуатаційних властивостей є нанесення захисних покриттів, що дозволяє суттєво розширити галузі застосування виробів і підвищити їх ресурс роботи при експлуатації в несприятливих умовах.

Функціональні захисні покриття, особливою властивістю яких є наявність міжзерених або міжфазних границь, широко використовують для підвищення ефективності і подовження строку експлуатації інструменту, призначеного для механічної обробки матеріалів. Вони поєднують високу твердість, зносостійкість, стійкість до окислення і адгезійної взаємодії з контактуючим матеріалом, низький коефіцієнт тертя, підвищену стійкість до абразивного зношування і окислення при підвищених температурах. Крім того актуальним є формування нових конструкційних матеріалів, розробка нових технологічних процесів їх отримання для забезпечення їх високої твердості, зносостійкості та високих експлуатаційних властивостей.

Важливим завданням також є вивчення фазового складу та механічних властивостей вакуумно-дугових нітридних покриттів в цілому. Вивчення внеску неоднорідної внутрішньої структури і субструктури дозволяє прогнозувати і більш точно оцінювати властивості матеріалу, а розуміння закономірностей формування сприяє моделюванню і формуванню нових матеріалів із заданими характеристиками. Багатошарові нітридні покриття поряд з високою твердістю мають більшу пластичність порівняно з одношаровими, що робить їх ефективними при роботі в умовах динамічного контактного навантаження. З наукової та прикладної точок зору також становлять інтерес визначення технологічних умов формування вищевказаних функціональних матеріалів. Однак питання впливу технологічних параметрів на структуру і властивості багатошарових покриттів залишається маловивченим.

Цей комплекс невирішених питань обумовив актуальність теми дисертаційної роботи та її мету, яка полягала у визначенні умов формування багатошарових нітридних захисних покриттів і розробці рекомендацій щодо конкретних фізико-технологічних параметрів їх осадження. Розвиток технологій отримання функціональних нітридних покриттів з керованими фізико-хімічними властивостями є перспективним напрямком розвитку промисловості, оскільки вони сприяють зменшенню ресурсоемності при виробництві деталей, інструментів та їх подальшій експлуатації.

2. Зв'язок теми дисертаційної роботи з науковими планами, програмами, фундаментальними та прикладними дослідженнями

Дисертаційна робота виконана на кафедрі матеріалів реакторобудування та фізичних технологій Навчально-наукового інституту «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна: НДР № 0119U002523, МОН України, 2019-2021 рр., «Фізичні засади адгезійної взаємодії багатокомпонентних покриттів з інструментальною підкладкою; НДР № 0121U109810, МОН України, 2021-2022 р, «Технологічні засади формування багатошарових іонно-плазмових покриттів для різального інструменту»; № 2020.02/0234, 2020-2023 рр., Національний фонд досліджень України, «Модифікація поверхні твердого тіла під дією плазми та пучків заряджених частинок». Дисертант брав участь у зазначених НДР як виконавець наукових досліджень та під час підготовки проміжних і заключних звітів.

3. Ступінь обґрунтованості, достовірності наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих в дисертації

Наукові твердження, висновки та рекомендації, викладені автором у роботі представлені у логічній послідовності та ретельно обґрунтовані, виходячи з результатів експериментальних і теоретичних досліджень.

Достовірність одержаних наукових результатів та ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків забезпечуються: використанням широкого спектру сучасних методів досліджень структури, фазового і елементного складу та механічної міцності матеріалів: вакуумно-дугового осадження растрової електронної мікроскопії; енергодисперсійного аналізу; рентгенівської дифракції; мікроіндентування, триботехнічних випробувань.

Крім зазначеного, достовірність, обґрунтованість і коректність наукових результатів та висновків дисертаційної роботи забезпечується систематичністю і повторюваністю отриманих даних та узгодженням їх з результатами інших авторів.

4. Наукова і практична дисертаційної роботи та новизна результатів

Аналізуючи роботу в цілому, можна зазначити найбільш вагомі, як фундаментального так і прикладного характеру, наукові результати, які визначають наукову новизну роботи.

1. Уперше встановлено, що зміна технологічних параметрів (збільшення потенціалу зсуву від -100 до -200 В при стабільному тиску робочого газу 0,53 Па) призводить до збільшення параметрів кристалічних решіток TiN і δ -NbN, розмірів кристалітів і мікронапружень та формування переважаючого росту текстури в площині (200).

2. Уперше показано, що максимальні значення твердості 34,4 ГПа та модуля Юнга 412 ГПа спостерігаються при значеннях потенціалу зсуву -200 В і тиску робочого газу 0,53 Па.

3. Установлено, що багат шарових покриттях (TiSi)N/CrN періодична структура нанорозмірних шарів є рівномірною, плоскою і не містить видимих дефектів та забезпечує максимальне значення твердості 31,1 ГПа і модуль Юнга 298 ГПа.

4. Показано, що міцність зчеплення багат шарового покриття (TiSi)N/CrN на 10% вища порівняно з одношаровими покриттями (TiSi)N та/або CrN такої ж товщини, а коефіцієнт тертя покриття (TiSi)N/CrN величину 0,35 порівняно з (TiSi)N - 0,55.

5. Установлено, що відпалювання багат шарових покриттів (TiSi)N/CrN призводить до збільшення (при 400°C) від 29,1 до 32,8 ГПа або зменшення (при 700 °C) від 28,8 до 30,9 ГПа та їх хорошу ударну в'язкість.

Результати роботи встановлюють кореляцію між технологічними параметрами та структурою, фазовим складом і механічними властивостями покриттів та дають уявлення про фізичні процеси, які протікають в них.

5. Наукове та практичне значення отриманих результатів

Результати, отримані в роботі, можуть бути використані у лабораторіях плівкового матеріалознавства дослідницьких установ НАН України та закладах вищої освіти МОН України, вони мають практичну цінність для галузей виробництва як військового, так і цивільного призначення. Експериментальні результати дисертаційної роботи поглиблюють і розширюють уявлення про закономірності формування структури і фазового складу, адгезійної взаємодії та міцності в композитних матеріалах типу «інструментальна підкладка - функціональне багат шарове захисне покриття», де як підкладка використовується твердий полікристалічний матеріал, а покриття осаджується на підкладку іонно-плазмовим методом. Зразки покриттів на інструментальних підкладках пройшли технічні випробування в Інституті Надтвердих матеріалів ім. В.Н. Бакуля НАН України в умовах, що відповідають реальним виробничим

процесам.

Результати досліджень також можуть бути використані у навчальному процесі при підготовці здобувачів вищої освіти зі спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» для розширення змісту навчальних дисциплін професійного спрямування.

6. Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях

Проаналізувавши наукові праці Гороха Д.В., можна стверджувати, що отримані дисертантом нові наукові результати та висновки відповідають умовам наукової новизни і вимогам МОН України, які пред'являється до дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Основні наукові положення, що відображені в дисертаційному дослідженні та виносяться на захист, опубліковані у 13 працях, зокрема 6 статтях у фахових виданнях України, які індексуються наукометричною базою даних Scopus або Web of Science; 2 статтях у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до міжнародних наукометричних баз Scopus або Web of Science та 6 наукових працях у матеріалах Міжнародних наукових конференцій.

В усіх опублікованих працях Горохом Д.В. ґрунтовно та в повному обсязі висвітлені основні наукові положення, результати і висновки дисертаційної роботи. Отримані дисертантом наукові положення і результати досліджень апробовані на наукових конференціях різного рівня.

7. Відповідність дисертації встановленим вимогам МОН України, та її завершеність

Після детального вивчення дисертації можна прийти до висновку, що дисертаційна робота Гороха Дениса Валерійовича відповідає чинним вимогам МОН України. Вона містить в своїй структурі зміст, анотацію, яка подана двома мовами, вступ, список опублікованих праць за темою дисертації, п'ять розділів, висновки до кожного розділу, загальні висновки роботи, список використаних джерел із 151 найменування та додаток. Загальний обсяг дисертації становить 153 сторінки, з яких основний текст - 117 сторінок, 47 рисунків та 24 таблиці.

Усі пункти викладені коректно та в повній мірі відображають проблематику роботи і наукові шляхи її вирішення. Дисертаційна робота характеризується науковою стилістикою і термінологією, викладення матеріалу логічністю, послідовністю і структурованістю. Дисертація має достатню кількість ілюстративного та графічного матеріалу.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що дисертаційне дослідження є завершеним і повністю відповідає вимогам, викладеним у Постанові Кабінету Міністрів №44 від 12.01.2022 р. про затвердження «Порядку

присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

8. Оформлення дисертації

За мовою структурою змістом та стилем написання дисертаційна робота Гороха Д.В. повністю відповідає вимогам до оформлення дисертацій, затверджених МОН України, наказ №40 від 12.11.2017 року.

9. Академічна доброчесність

У ході вивчення та аналізу тексту дисертаційної роботи та наукових публікацій автора, в яких висвітлені основні наукові результати, порушення академічної доброчесності виявлено не було.

10. Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації

Дисертаційна робота виконана на високому професійному рівні та в цілому залишає позитивне враження, однак, на мою думку має певні недоліки.

1. Для більш повного розуміння механічних і адгезійних характеристик нітридних покриттів бажано було б пояснити фізичний механізм впливу нанорозмірної структури покриття на його властивості.

2. Доцільно було б провести порівняльний аналіз властивостей багат шарових систем (TiSi)N/NbN та (TiSi)N/CrN та пояснити, чому напруга зміщення і тиск азоту при осадженні однаково впливають на механічні властивості вищевказаних систем і яким чином їх властивості залежать від концентрації атомів Nb і Cr.

3. У дисертаційній роботі не вказана і не пояснена причина зростання твердості матеріалів (TiSi)N/CrN, сформованих при потенціалі зміщення 200 В і тиску робочого газу 0,6 Па, після відпалювання при 673 К.

4. Не в повній мірі проаналізована ступінь відповідності параметрів досліджуваних захисних нітридних покриттів промисловим вимогам до матеріалів ріжучих інструментів з точки твердості та шоркості поверхні.

5. У тексті дисертації поряд з системними використовуються несистемні одиниці вимірювань (наприклад, °C), а також одночасно терміни «підкладинка» (стор. 12, 14, 20, 25, 47, 58, 79, 82) і «підкладка» (стор. 61, 72, 73, 81, 98), що дещо затруднює сприйняття матеріалу.

Усі вказані зауваження носять рекомендаційний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Гороха Дениса Валерійовича, яка є одноособово створеною кваліфікаційною науковою працею, що містить сукупність результатів і наукових положень, поданих автором для публічного захисту, та відповідає спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

11. Загальний висновок

Дисертаційна робота Гороха Дениса Валерійовича на тему «Закономірності формування, особливості структури та властивості іонно-плазмових нітридних покриттів TiSiN/NbN ТА TiSiN/CrN» є завершеним самостійним науковим дослідженням, яке характеризується актуальністю, науковою новизною, достовірністю та практичною цінністю отриманих результатів. У роботі вирішено науково-технічну задачу сучасної прикладної фізики та наноматеріалознавства, яка полягає у визначенні закономірностей формування плазмових нанокompatитних шаруватих покриттів на основі багатофазних і багатоелементних систем (TiSi)N/NbN і (TiSi)N/CrN, структурно-фазовий стан яких забезпечує покращення експлуатаційних характеристик виробів, що експлуатуються в умовах високих термобаричних навантажень, у тому числі для різального інструменту.

Зміст дисертації повністю відповідає поставленим на початку дослідження завданням та меті у повному обсязі. За кількістю та обсягом наукові публікації відповідають чинним вимогам МОН України щодо можливості присудження наукового звання доктор філософії. Текст дисертації виконано науковим стилем і термінологією, він логічно структурований та містить необхідну для дисертації кількість висновків. Кожен розділ супроводжується обґрунтованими і логічними висновками.

Дисертаційна робота повністю відповідає вимогам п.6-9 наказу «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти наукової установи про присудження ступеня доктор філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року №44, а її автор, Горох Денис Валерійович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Офіційний опонент

завідувачка кафедри електроніки,
загальної та прикладної фізики
Сумського державного університету,
Доктор фізико-математичних наук,
професор

Л.В. Олександрович

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ

створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 17:44:26 31.01.2024

Назва файлу з підписом: Відгук опонента Однодворець Л.В. на дис Гороха Д. до друку з підп.pdf.asice

Розмір файлу з підписом: 219.2 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: Відгук опонента Однодворець Л.В. на дис Гороха Д. до друку з підп.pdf

Розмір файлу без підпису: 223.3 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: ОДНОДВОРЕЦЬ ЛАРИСА ВАЛЕНТИНІВНА

П.І.Б.: ОДНОДВОРЕЦЬ ЛАРИСА ВАЛЕНТИНІВНА

Країна: Україна

РНОКПП: 2578414441

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 17:44:24 31.01.2024

Сертифікат виданий: АЦСК АТ КБ «ПРИВАТБАНК»

Серійний номер: 248197DDFAB977E5040000001A2CE4007B142A04

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)

Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2023.12.21 13:00

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
професору Ігорю ГРЦІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, старшого наукового співробітника кафедри матеріалів реакторобудування та фізичних технологій Навчально-наукового інституту «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, кандидата фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.07 – фізика твердого тіла) **Богатиренка Сергія Івановича** на дисертаційну роботу **Гороха Дениса Валерійовича** «Закономірності формування, особливості структури та властивості іонно-плазмових нітридних покриттів TiSiN/NbN та TiSiN/CrN», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

Актуальність обраної теми для дисертаційної роботи обумовлена неперервним прогресом у галузі науки і техніки, постійним удосконаленням та інтенсифікацією виробничих процесів, де використовуються передові технології та обладнання. Високотехнологічні засоби та обладнання накладають все більше вимог на матеріали, які застосовуються в різноманітних процесах у практично всіх галузях матеріального виробництва.

Один з важливих та майбутніх напрямів для покращення та розширення можливостей використання конструкційних та функціональних матеріалів - це використання спеціальних покриттів, зокрема, тих, що формуються за допомогою плазмових методів. Підбір оптимальних покриттів для конкретних функціональних застосувань в різних технологічних операціях може відігравати ключову роль у технічному прогресі в різних галузях. Перехід до нового ієрархічного рівня у структурі твердих тіл, а саме до нанорівня, наноматеріалів та нанотехнологій, надав додаткового поштовху науковим дослідженням та розробкам в галузі матеріалознавства. Протягом останніх 20-30 років було досягнуто значних успіхів в цьому напрямку, але потенціал для досліджень сьогодні залишається практично нескінченним. Отже, завдання створення фізико-технологічних засад для формування плазмових нанокompозитних функціональних покриттів на основі керамічних матеріалів та вивчення взаємозв'язків між структурно-фазовим станом покриттів та механічними та фізико-хімічними властивостями композитів "металева основа - покриття" залишається актуальною.

Метою цієї роботи є визначення впливу різних фізико-технологічних параметрів процесу осадження на формування функціональних покриттів, які базуються на керамічних багатоелементних сполуках і створені за допомогою іонно-плазмового випаровування матеріалів різного складу.

До цих важливих фізико-технологічних параметрів процесу осадження входять такі аспекти:

1. Склад елементів і фазовий стан матеріалів, що використовуються у якості катодів-мішеней.
2. Структурний стан катодів, який залежить від особливостей їх виробництва.
3. Початковий стан підкладки та процедура її підготовки до нанесення покриття.

4. Склад та тиск газового середовища у вакуумній камері під час формування покриттів.
5. Розмір та тип потенціалу, який створюється на підкладці.
6. Параметри, пов'язані з температурою і часом випаровування і осадження матеріалів.
7. Геометричні характеристики процесу, такі як розташування технологічних вузлів та підкладки у вакуумній камері, рухомість або нерухомість підкладки, і кількість катодів-мішеней, і т. д.

Завданнями роботи стали:

1. Оцінка впливу умов розпилення та конденсації на створення різних типів покриттів (включаючи вакуумно-дугові та магнетронні) з різним рівнем складності.
2. Аналіз морфології поверхні покриттів і визначення їх складу.
3. Дослідження впливу структурного та фазового стану нанокompозитних покриттів на їхні фізико-механічні властивості.
4. Вивчення якості зчеплення покриттів з підкладкою та визначення триботехнічних характеристик створених функціональних керамічних покриттів.

Для вирішення поставлених завдань у роботі використовувався комплекс сучасних технологічних та дослідницьких методів.

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 (НДР ДР № 0119U002523, ДР № 0121U109810, № 2020.02/0234(НФДУ)). Частину досліджень виконано у співпраці з науковцями низки освітніх та наукових установ України та у межах міжнародної наукової співпраці.

Отримані результати мають наукову новизну у наступних аспектах:

1. Вперше проведено комплексне дослідження впливу розмірного фактору на фізико-механічні властивості функціональних нітридних покриттів, зокрема (TiSiN)/NbN та (TiSi)N/CrN.
2. Вперше отримані технологічні параметри формування багат шарових нітридних покриттів нанометрового масштабу з рівномірною періодичною структурою вільною від дефектів, яка характеризується високими значеннями твердості та модуль Юнга.
3. Показано, що багат шарова періодична структура покриттів (TiSi)N/CrN сприяє модифікації механізму тертя, внаслідок чого, коефіцієнт тертя даного покриття у півтора рази менший від коефіцієнту для одношарового покриття (TiSi)N.
4. Виявлено, що міцність зчеплення багат шарового покриття (TiSi)N/CrN, за рахунок періодичної структури, вища на 10 % порівняно з одношаровими покриттями (TiSi)N та/або CrN.
5. Показано, що нанорозмірна періодична структура досліджуваних плівок зберігається навіть при досягненні критичної для даної підкладки температури відпалу (700°C), при цьому її міцність практично не змінюється.

Достовірність результатів наукових досліджень підтверджується використанням апробованого технологічного способу формування досліджуваних

шаруватих плівок та методів їх дослідження. В якості аналітичних методів дослідження використовувалася растрова та просвічуюча електронна мікроскопія, рентгенівська дифрактометрія та енергодисперсійна спектроскопія, відомі методи визначення адгезійної/когезійної міцності покриттів та їх трибологічних характеристик.

До роботи можна зробити такі зауваження:

1. При формулюванні наукової новизни отриманих результатів, на мій погляд, занадто велика увага приділена кількісним характеристикам досліджуваних плівок без вказівки на які характеристики структурно-фазового стану та фізико-механічні властивості, і як саме вони впливають, що дуже сильно ускладнює сприйняття даних формулювань.
2. У назві таблиць 2.2 та 2.3 на с. 63. у складі покриттів можливо не вистачає букви N/.
3. У розділі 5.3 фігурують багатофазні та багатошарові покриття на основі $(\text{TiAlZrNbY})\text{N}$, про які нема жодного слова у висновках..
4. Те ж саме стосується і $(\text{TiAlZrNbY})\text{N}/\text{TiAlZrNbY}$ та $(\text{TiAlZrNbY})\text{N}/\text{CrN}$.

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 13 наукових працях (8 статей у наукометричній базі SCOPUS та 5 тез доповідей. Результати дисертаційної роботи повністю відображено 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 плагиату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності.

За своїм фаховим спрямуванням, науковою новизною і практичною значимістю дисертаційна робота Гороха Д.В. відповідає спеціальності 105 – Прикладна фізика та наноматеріали. 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».

Рецензент

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

Сергій БОГАТИРЕНКО

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ

створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 17:36:53 31.01.2024

Назва файлу з підписом: PEЦ_Богатиренко_New.docx.asice
Розмір файлу з підписом: 25.2 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: PEЦ_Богатиренко_New.docx
Розмір файлу без підпису: 22.5 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: Богатиренко Сергій Іванович

П.І.Б.: Богатиренко Сергій Іванович

Країна: Україна

РНОКПП: 2747913413

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 17:36:52
31.01.2024

Сертифікат виданий: "Дія". Кваліфікований надавач електронних довірчих послуг

Серійний номер: 382367105294AF970400000B9530C0009695901

Тип носія особистого ключа: ЗНКІ криптомодуль ІІТ Гряда-301

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Кваліфікований

Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)

Формат підпису: З повними даними ЦСК для перевірки (CAdES-X Long)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2023.12.21 13:00

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
професору Ігорю ГІРЦІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, професора кафедри матеріалів реакторобудування та фізичних технологій Навчально-наукового інституту «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, доктора фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.08 – фізика плазми) **Зикова Олександра Володимировича** на дисертаційну роботу **Гороха Дениса Валерійовича** «Закономірності формування, особливості структури та властивості іонно-плазмових нітридних покриттів TiSiN/NbN та TiSiN/CrN», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

Обґрунтування вибору теми дослідження й актуальність роботи.

Сучасне високотехнологічне обладнання, що використовуються у різних галузях виробництва, потребує постійного удосконалення матеріалів для його виготовлення. Одним із перспективних напрямків для поліпшення та розширення можливостей використання конструкційних матеріалів є використання спеціальних функціональних покриттів. Правильний вибір параметрів покриттів для конкретних застосувань у різних технологічних процесах може відігравати важливу роль у технічному розвитку. Перехід до нового рівня в структурі матеріалів, а саме до наноструктур, стимулює наукові дослідження, розробку обладнання і технологій в галузі матеріалознавства.

Іонно-плазмові методи нанесення покриттів, зокрема вакуумно-дугове осадження, дозволяють формувати високоякісні складнокомпозиційні наноструктуровані функціональні покриття різного призначення. Протягом останніх 20-30 років в цьому напрямку досягнуто значних успіхів, але

потенціал для подальших досліджень залишається майже нескінченним. Актуальним завданням матеріалознавства в цьому напрямку є створення фізико-технологічних засад для формування наноструктурованих функціональних покриттів на основі керамічних матеріалів та вивчення взаємозв'язків між структурно-фазовим станом покриттів і механічними та фізико-хімічними властивостями композитів "металева основа - покриття".

Дисертаційна робота Гороха Д.В. присвячена створенню багатошарових покриттів нанометрового масштабу типу TiSiN/NbN та TiSiN/CrN вакуумно-дуговим методом, призначених для захисту поверхні конструкційних матеріалів, які працюють в умовах підвищених температур, втомних і термовтомних навантажень. Мета роботи полягає у визначенні умов формування нітридних багатошарових захисних покриттів та розробці рекомендацій стосовно конкретних фізико-технологічних процесів їх осадження. Також досліджено особливості процесів синтезу, визначено елементний і фазовий склад, субструктура та властивості багатошарових нітридних покриттів, зв'язки між структурою та механічними і трибологічними властивостями покриттів. Таким чином, робота становить як фундаментальний, так і значний практичний інтерес для матеріалознавства та фізики поверхні.

Зважаючи на вищезазначене, можна стверджувати, що дисертація **Гороха Дениса Валерійовича** є повністю актуальною, а її результати є важливими для подальших досліджень в галузі фізики твердого тіла і матеріалознавства.

Загальна характеристика дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі матеріалів реакторобудування та фізичних технологій Навчально-наукового інституту «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

Дисертаційна робота складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, 5 розділів, висновків та списку використаних джерел, який

містить 151 найменування. Загальний обсяг роботи складає 153 сторінки. Робота ілюстрована 47 рисунками та містить 24 таблиці.

У вступі наведено обґрунтування вибору теми, визначено мету й завдання дослідження, його об'єкт та предмет, методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувача при виконанні дослідження, наведено перелік наукових публікацій за темою дисертації та інформацію стосовно апробації матеріалів дисертації. Встановлено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.

У першому розділі проведено огляд та аналіз теоретичних та експериментальних робіт, щодо іонно-плазмових методів формування покриттів, особливостей структури та властивостей багат шарових нітридних покриттів типу MeN/MeN та MeMeN/MeMeN. Розглянуто як класичні роботи, так оригінальні сучасні статті, що відповідають стандартам в даній області.

У другому розділі розглянуто матеріали та обладнання для нанесення нітридних покриттів, методи нанесення багат шарових покриттів типу (TiSi)N/NbN та (TiSi)N/CrN за допомогою вакуумно-дугового розряду. Представлено методи дослідження морфології, структури, фазового та елементного складу, мікротвердості, адгезійної міцності багат шарових покриттів. Описано методи досліджень зносостійкості, теплофізичних характеристик системи «багат шарове нітридне покриття – металева підкладка».

У третьому розділі наведено результати досліджень властивостей композиційних покриттів Ti-Si-N / Ti-Hf-Si-N та Ti-Si-N / Ti-Zr-Si-N, отриманих іонно-плазмовим методом.

У четвертому розділі описано дослідження фізико-механічних властивостей, визначено хімічний склад та структурно-фазовий стан багат шарових наноструктурованих покриттів на основі (TiSi)N/NbN.

У п'ятому розділі представлено дослідження фізико-механічних властивостей багат шарових наноструктурованих покриттів на основі

(TiSi)N/CrN, їх хімічний склад та структура. Проведено дослідження впливу відпалу на фізико-механічні характеристики покриттів.

До кожного розділу наведено висновки, що підсумовують основні результати досліджень.

У **висновках** наведено основні результати роботи, які повністю відповідають змісту дисертації.

Список використаних джерел містить посилання на наукові статті, що відображають сучасний стан за темою дисертації.

Дисертація є завершеною науковою роботою. Оформлення відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44), та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна

1. Вперше встановлено, що зі збільшенням потенціалу зсуву від -100 до -200 В при сталому тиску робочого газу на рівні 0,53 Па спостерігається збільшення параметрів кристалічних ґраток у випадку матеріалів TiN і δ -NbN, а також зростання розмірів кристалітів і рівня мікронапружень. При цьому спостерігається формування переважаючого росту текстури в площині (200).
2. Вперше продемонстровано, що найвищі значення твердості досягаються при застосуванні потенціалу зсуву -200 В та тиску робочого газу на рівні 0,53 Па, і конкретно: твердість - 34,4 ГПа, модуль Юнга - 412 ГПа, відношення H/E^* - 0,083 і відношення H^3/E^{*2} - 0,23.
3. Підтверджено, що у багат шарових покриттях (TiSi)N/CrN наночастиці мають рівномірну та бездефектну періодичну структуру. Розмір кристалітів

складає 12,9 нм для шарів (TiSi)N і 13,7 нм для CrN. Ця нанорозмірна структура призводить до високих значень твердості (31,1 ГПа) та модуля Юнга (298 ГПа).

4. З'ясовано, що міцність зчеплення в багатошаровому покритті (TiSi)N/CrN на 10% вища в порівнянні з одношаровими покриттями (TiSi)N і/або CrN. Також багатошарова структура зменшує механізми тертя, що призводить до зниження коефіцієнта тертя в покритті (TiSi)N/CrN до 0,35, у порівнянні з 0,55 для (TiSi)N.

5. Показано, що термічна обробка багатошарових покриттів (TiSi)N/CrN при 400°C і 700°C призводить до незначного збільшення розміру кристалітів кубічних нітридів TiN і CrN та нітриду Ti₂N, але не впливає на їхню текстуру. Твердість покриттів залишається на високому рівні (від 27,8 до 31,1) ГПа. Після термічної обробки при 400°C твердість зростає до (від 29,1 до 32,8) ГПа, в той час як підвищення температури до 700°C слабо знижує твердість до (від 28,8 до 30,9) ГПа. Високе відношення H/E \approx 0,1 підтверджує високу ударну міцність покриттів при збереженні високої твердості..

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Аналіз тексту дисертації та змісту публікацій Гороха Д.В. дає змогу зробити висновок, що результати є науково обґрунтованими, достовірними та відповідають меті й завданням дисертаційної роботи. Достовірність та обґрунтованість наукових результатів і висновків дисертаційної праці не викликає жодних сумнівів і забезпечується високим рівнем апробації та наукових видань, у яких опубліковано результати дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження, в рамках дисертації, були виконані під час навчання автора в аспірантурі Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна на

кафедрі матеріалів реакторобудування та фізичних технологій ННІ «Фізико-технічний факультет» у відповідності до плану науково-дослідних робіт кафедри, виконавцем яких був автор дисертації:

1. НДР МОН України, 2019-2021 рр., «Фізичні засади адгезійної взаємодії багатокомпонентних покриттів з інструментальною підкладкою», ДР № 0119U002523.
2. НДР МОН України, 2021-2022 р, «Технологічні засади формування багат шарових іонно-плазмових покриттів для різального інструменту», ДР № 0121U109810.
3. НДР НФД України, 2020-2021 рр., «Модифікація поверхні твердого тіла під дією плазми та пучків заряджених частинок», № 2020.02/0234.

Частину досліджень виконано у співпраці з науковцями низки освітніх та наукових установ України та у межах міжнародної наукової співпраці.

Апробація та публікації.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 13 наукових працях: 8 статей у наукометричній базі SCOPUS та 5 тез доповідей. Результати дисертаційної роботи повністю відображено в публікаціях

Оформлення дисертації та академічна доброчесність.

Оформлення, зміст, структура дисертації та кількість публікацій **відповідають вимогам** «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44) та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

На підставі детального розгляду тексту дисертації, посилань, статей здобувача та Протоколу контролю оригінальності (перевірку можливої

наявності текстових запозичень виконано в інтернет-системі (Strikeplagiarism.com) встановлено, що дисертаційна робота **виконана самостійно**, текст дисертації **не містить плагіату**, а дисертація **відповідає усім вимогам академічної доброчесності**.

Наукове, теоретичне та практичне значення результатів дисертації.

Наукова цінність роботи полягає у поглибленні та розширенні уявлень про закономірності утворення та функціонування зв'язків в ланцюгу «склад - структура - властивості», зокрема в визначенні особливостей фазо- та структуро-утворення, адгезійної взаємодії та міцності в композитних матеріалах типу «інструментальна підкладка - захисне покриття», де підкладка виготовлена з твердого полікристалічного матеріалу (кераміки або металокераміки), а покриття є багатошаровим об'єктом, осадженим на підкладку іонно-плазмовими технологіями з можливим модифікуванням.

Практичне значення результатів роботи полягає в тому, що зразки покриттів нанесено на інструментальні підкладки та випробувано в Інституті надтвердих матеріалів імені В.Н. Бакуля НАН України в умовах, що відповідають реальним виробничим процесам.

Враховуючи великі обсяги різальної обробки твердих та загартованих сталей і сплавів, велику потребу виробників в забезпеченні спеціальним інструментом, результати цієї роботи можуть бути корисними для низки галузей виробництва як військового, так і цивільного призначення.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності.

Дисертація Гороха Д.В.. є завершеною науково-дослідною роботою, у якій вирішено комплекс задач, пов'язаних з закономірностями формування, особливостями структури та властивостям нітридних покриттів TiSiN/NbN та TiSiN/CrN, отриманих іонно-плазмовим, вакуумно-дуговим методом.

Результати досліджень повністю висвітлені в наукових публікаціях, матеріалах конференцій та відображені в змісті дисертації.

Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

1. В розділі 2 (стор. 62-63) наведено технологічні параметри формування покриттів (TiSi)N/CrN та (TiSi)N/NbN, але не обґрунтовано вибір технологічних параметрів осадження (зокрема, тиску азоту та потенціалу зміщення) для різних серій покриттів. Доцільно було б навести відповідне обґрунтування.
2. В підрозділі 2.5 бажано додатково пояснити, яким чином розмірний фактор міжфазних меж впливає на твердість та абразивне зношування покриттів.
3. У тексті присутні визначення на зразок «плазмове покриття», «PVD покриття», які зрозумілі лише вузьким спеціалістам й потребують додаткового пояснення більш широкій аудиторії. Доцільно використовувати терміни « покриття (плівки), отримані іонно-плазмовими (PVD) методами».
4. Деякі рисунки (1.12, 4.5) мають надписи англійською мовою, рисунки 1.16, 2.5 та зображення на рис.3.3 мають низку якості.

Наведені зауваження жодним чином не зменшують якість дисертації та обґрунтованість висновків.

Загальні висновки.

Дисертація є Гороха Дениса Валерійовича завершеною науково-дослідною роботою, має наукову новизну та практичну значущість. Зміст повністю відображає основні наукові положення дисертації. Дисертація оформлена відповідно до чинних вимог, написана науковим стилем і літературною українською мовою.

Дисертаційна робота Гороха Дениса Валерійовича «Закономірності формування, особливості структури та властивості іонно-плазмових нітридних покриттів TiSiN/NbN та TiSiN/CrN» за актуальністю, змістом та повнотою викладу її результатів у публікаціях здобувача, обсягом і якістю оформлення відповідає спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали», вимогам

«Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44), та наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

Вважаю, що Горох Денис Валерійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

Офіційний рецензент,
доктор фізико-математичних наук,
професор кафедри матеріалів
реакторобудування та фізичних технологій
ННІ «Фізико-технічний факультет»
Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна

Олександр ЗИКОВ

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 18:17:07 29.01.2024

Назва файлу з підписом: фінал_Рецензія_Зиков-Горох.pdf
Розмір файлу з підписом: 167.1 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: фінал_Рецензія_Зиков-Горох.pdf
Розмір файлу без підпису: 131.0 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: ЗИКОВ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ

П.І.Б.: ЗИКОВ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ

Країна: Україна

РНОКПП: 2105000898

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 18:17:05 29.01.2024

Сертифікат виданий: АЦСК АТ КБ «ПРИВАТБАНК»

Серійний номер: 248197DDFAB977E5040000003CC4110114B04904

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підписаний PDF-файл (PAdES)

Формат підпису: З позначкою часу від ЕП (PAdES-B-T)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2023.12.21 13:00

Голові разової
спеціалізованої вченої ради
Харківського національного університету
імені В. Н. Каразіна
професору Ігорю ГІРЦІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

ВІДГУК

заступника директора з наукової роботи Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України, Член-кореспондента НАН України (Матеріалознавство, обробка матеріалів), доктора технічних наук (спеціальність 05.03.01 – Процеси механічної обробки, верстати та інструменти) **Клименко Сергія Анатолійовича** на дисертаційну роботу **Гороха Дениса Валерійовича** «Закономірності формування, особливості структури та властивості іонно-плазмових нітридних покриттів TiSiN/NbN та TiSiN/CrN», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

Дисертаційна робота присвячена створенню вакуумно-дугових багатошарових покриттів нанометрового масштабу типів TiSiN/NbN та TiSiN/CrN, які відповідають сучасним вимогам щодо захисту поверхні конструкційних матеріалів, які працюють в умовах підвищених температур, втомних і термовтомних навантажень, а також виявленню особливостей процесів синтезу, визначенню елементного і фазового складу, субструктури та властивостей багатошарових покриттів, а також зв'язків між структурою та механічними і трибологічними властивостями покриттів.

Наукова новизна роботи не викликає сумнівів і, в першу чергу, полягає в тому, що вперше встановлено вплив параметрів осадження (потенціал зсуву та тиск робочого газу) на фізико-механічні властивості покриттів, встановлено міцність зчеплення для багатошарового покриття (TiSi)N/CrN, досліджено вплив температури відпалу багатошарових покриттів (TiSi)N/CrN на структуру покриття та його фізико-механічні властивості.

Структура дисертації є логічною та послідовною, а наведені матеріали проведених досліджень свідчать про досягнення мети досліджень шляхом розв'язання поставлених задач.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 8 наукових працях фахових виданнях України, що індексуються в наукометричній базі «Scopus», та 5 тез доповідей на міжнародних і вітчизняних наукових конференціях.

Слід відмітити високу практичну цінність роботи, яка полягає у визначенні особливостей фазо- та структуроутворення, адгезійної взаємодії та міцності в композитних матеріалах типу «інструментальна підкладинка - функціональне захисне покриття», що дозволяє підвищити стійкість різальних інструментів із різних інструментальних матеріалів, серед яких тверді сплави та полікристалічні надтверді композити.

Поряд з перевагами представленої роботи також слід висловити зауваження:

1. В першому пункті наукової новизни показано, що збільшення потенціал зсуву призводить до збільшення розмірів кристалів та рівня мікронапружень, але при цьому не розкрито механізм такого впливу.

2. У розділі 3.1 наведено вплив температури відпалу на висоту мікронерівностей поверхні отриманих покриттів про те не вказано, як впливає температура відпалу на фізико-механічні властивості покриттів, які досліджуються.

Проте вказані недоліки не зменшують наукової та практичної цінності роботи.

На підставі отриманої дисертації можна зробити висновок, що представлена до захисту робота є закінченим науковим досліджуванням, відповідає вимогам, що висувається до дисертацій, а здобувач Горох Д. В. заслуговує присвоєння ступеня доктор філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

Заступник директора по науковій роботі
ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України,
чл.- кор. НАН України, д.т.н., проф.



Сергій КЛИМЕНКО

Старший науковий співробітник відділу №18
ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України,
к.т.н., ст. дослідник



Сергій КЛИМЕНКО

Підписи чл.- кор. НАН України, д.т.н., проф. Клименка С. А.
та к.т.н., ст. досл. Клименка С. А. засвідчую
Вчений секретар ІНМ ім. В.М. Бакуля
НАН України, к.т.н., ст. досл.



Володимир СМОКВИНА