

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

Відгук

Офіційного опонента, професора кафедри електронних пристроїв та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Кузьмичева Анатолія Івановича на дисертаційну роботу Єфименко Ніни Олександрівни «Формування комбінованих потоків активованих частинок в плазмових системах зі схрещеними ЕН-полями для синтезу наноструктурних покриттів», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

Обґрунтування вибору теми дослідження.

Іонно-плазмові системи (ІПС) з комбінованими електричним (Е) і магнітним (Н) полями є сучасним і потужним інструментом для обробки поверхні твердого тіла на субмікронному рівні та нанесення функціональних покриттів. Разом з цим, постійний розвиток мікро- і нанотехнологій потребує удосконалення існуючого і розробки нового обладнання на основі експериментальних і теоретичних досліджень газових розрядів з різною комбінацією ЕН- полів, а також розробки ІПС з комбінованими розрядами. Такі системи дають можливість індивідуального регулювання енергії та густини струмів іонів, електронів та хімічно активних частинок.

Дисертаційна робота присвячена експериментальним дослідженням оригінальної кластерної іонно-плазмової системи (КІПС) та нової комбінованої магнетронної іонно-плазмової системи (МІПС), в яких використовується бомбардування зростаючої плівки іонами з різною енергією. Додаткове іонне бомбардування забезпечує поточний контроль над процесом зростання плівок,

формуванням щільних високоякісних шарів та синтезом складних наноструктурованих покриттів. Результати роботи суттєво покращили технології синтезу оксидів, нітридів і оксинітридів алюмінію та танталу, що дозволило використовувати такі покриття для виробів імплантології в медицині.

Також в роботі запропоновано і досліджено нову концепцію МПС, яка забезпечує генерацію потужних іонно-електронних потоків з керованою енергією. Отримані результати є актуальними для фундаментальних знань у галузі газового розряду та низькотемпературної плазми в магнітному полі і важливими для подальшого розвитку іонно-плазмового обладнання.

Таким чином, можна зазначити, що тема дисертації Єфименко Ніни Олександрівни є **актуальною**, а її результати є **важливими** для подальшого розвитку різноманітних іонно-плазмових систем.

Загальна характеристика дисертаційної роботи

Дисертаційна робота виконана в Харківському національному університеті імені В.Н. Каразіна. Дисертаційна робота складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, 5 розділів, висновків, переліку використаної літератури, який містить 144 найменування та двох додатків. Загальний обсяг роботи складає 174 сторінки. З цих сторінок робота містить 125 основних сторінок. Робота ілюстрована 82 рисунками.

У вступі наведено обґрунтування вибору теми, визначено мету й завдання досліджень, його об'єкт та предмет, методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувачки при виконанні роботи, 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 літературних джерел, присвячених теоретичним і експериментальним дослідженням магнетронних розпорозувальних систем, що включають джерела різних типів для

додаткового іонного бомбардування. Було розглянуто як класичні роботи, так оригінальні сучасні статті, що відповідають стандартам в даній області.

У **другому розділі** дисертації представлено ретельний опис експериментальної кластерної іонно-плазмової системи, розробленої для нанесення складно-композиційних покриттів. Проведено дослідження просторового розподілу потоків заряджених частинок у робочій камері, оптичний та мас-спектрометричний аналіз плазми в процесі магнетронного нанесення плівок окси-нітрида танталу. Важливим аспектом дослідження було визначення оптимальної технології для нанесення високоякісних покриттів з пентаоксиду танталу на медичні імплантати.

У **третьому розділі** детально розглянуто конструкцію та результати експериментальних досліджень нової комбінованої магнетронної іонно-променевої системи (МІПС). Проаналізовано основні розрядні параметри магнетрона та джерела іонів. Виконано вимірювання розподілу густини струму іонів, а також проведено технологічну апробацію МІПС для синтезу плівок оксиду алюмінію з різною структурою..

У **четвертому розділі** представлено МІПС, модифіковану для роботи в плазмовому режимі. Проведено дослідження вольт-амперних характеристик складових елементів системи, залежність її параметрів від магнітного поля, тиску робочого газу. Визначено два режими роботи МІПС при спільному джерелі електроживлення магнетронного розряду та джерела іонів.

У **п'ятому розділі** представлено феноменологічну модель сталого стану комбінованого газового розряду з магнітним полем в плазмовому режимі.

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

Список використаних джерел містить як класичні наукові праці в галузі фізики газового розряду і низькотемпературної плазми, так статті, що відображають сучасний стан наукових досліджень іонно-плазмових систем.

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».

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

Дисертаційну роботу виконано в Навчально-науковому інституті «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна відповідно до тематичних планів фундаментальних і прикладних науково-дослідних робіт. Результати досліджень дисертаційної роботи були здобуті в межах виконання науково-дослідних робіт з таких держбюджетних тем:

- 2017-2019 рр. НДР МОН України «Фізичні принципи іонно-плазмового синтезу та керування властивостями наноструктурних складно-композиційних покриттів». № ДР 0117U004855.
- 2020-2021.рр. НДР МОН України « Принципи формування діелектричних наноструктурних покриттів з окси-нитридів перехідних металів методом реактивного іонно-плазмового синтезу». № ДР 0120U102129.
- 2022-2023 рр. НДР МОН України «Біотолерантні покриття для імплантології: технології синтезу, керування властивостями, застосування в медицині». № ДР 0122U001658.
- 2023-2025 рр. НДР НФД України «Дослідження та розробка іонно-плазмових технологій синтезу багатofункціональних складно-композиційних покриттів для медичних імплантів та біобезпеки». № 2021.01/0204.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів, одержаних Єфименко Н.О. під час проведення досліджень за темою дисертаційної роботи, забезпечується використанням фундаментальних і загальновідомих підходів та методів обчислювальної й математичної фізики. Основні результати дисертації опубліковані в 4 статтях в індексованих наукових журналах та доповідалися на 4 міжнародних і вітчизняних наукових конференціях. Висновки дисертаційної роботи є обґрунтованими.

Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна

У роботі отримано низку нових експериментальних і теоретичних результатів, серед яких, варто відзначити такі:

1. Вперше експериментально обґрунтовано методи створення високоякісних покриттів з оксидів і оксинітридів алюмінію та танталу в кластерній іонно-плазмовій системі..
2. Вперше, використовуючи бомбардування зростаючого покриття іонами, було синтезовано послідовно аморфну, γ - та α - фази оксиду алюмінію, у магнетронній іонно-променевої системі при температурі менше 500°C .
3. Вперше експериментально доведено можливість формувати прианодний шар електронів у джерелі іонів холловського типу в плазмовому режимі без розжарювального катоду завдяки інжекції електронів з магнетронного розряду.
4. Вперше експериментально виявлено та теоретично обґрунтовано метод самоузгодженого керування напругою прианодного шару електронів у джерелі іонів холловського типу в плазмовому режимі за допомогою магнітного поля.
5. В комбінованій іонно-плазмовій системі вперше отримано направлений компенсований іон-електронний потік з керованою енергією іонів у діапазоні від 30 до 500 еВ і густиною струму до 30 mA/cm^2 .

6. Вперше розроблена феноменологічна модель самоузгоджених станів магнетронного розряду з катодним і прианодними шарами просторового заряду і встановлено наявність сталого мінімуму напруги розряду.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Аналіз тексту дисертації та змісту публікацій Єфименко Н.О. 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.

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.

У ході виконання дисертаційної роботи в результаті експериментальних досліджень іонно-плазмових систем з комбінованими електричним та магнітним полями було отримано нові дані, щодо фізичних механізмів газових розрядів в магнітному полі. Отримані результати є актуальними та важливими для подальшого розвитку іонно-плазмового обладнання для мікро- та нанотехнологій.

У ході проведення експериментів було досліджено реактивний іонно-плазмовий синтез біотолерантних покриттів на основі оксиду, нітриду та оксинітриду танталу. Для здійснення цього дослідження використовувалися унікальні іонно-плазмові системи, такі як КПС і МПС. Використовуючи параметри, характерні для виробничих іонно-плазмових технологічних процесів, таких як травлення і модифікація поверхні, нанесення та синтез тонких плівок, було вивчено можливості створення високоефективних біотолерантних покриттів. Ці дослідження сприяли розробці нових методів виготовлення біотолерантних покриттів, які мають перспективи застосування у промислових та наукових галузях.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності

Дисертація Н.О.Єфименко є завершеною науково-дослідною роботою, у якій вирішено комплексну задачу, пов'язану з дослідженням основних методів нанесення тонких плівок та покриттів з додатковим іонним бомбардуванням. Результати досліджень повністю висвітлені в наукових публікаціях, матеріалах конференцій та відображені в змісті дисертації.

Апробація та публікації

Основні наукові та практичні результати роботи оприлюднені та обговорені на таких конференціях: XVI International workshop "Plasma electronics and new methods of acceleration" (Харків, Україна, 5-6 вересня, 2023 р.); 11 Міжнародній конференції «Nanomaterials: Application & Properties, NAP-

2021» (Одеса, Україна, 5-11 вересня, 2021 р.); 10 Міжнародній конференції “Nanomaterials: Applications and Properties”, NAP-2020, (Одеса, Україна, 9-13 листопада, 2020 р.); 9 Міжнародній конференції “Nanomaterials: Applications and Properties”, NAP-2019, (Одеса, Україна, 15-20 вересня, 2019 р.).

Результати дисертації належним чином представлено в 4 наукових статтях у вітчизняних фахових виданнях, що входять до списку фахових видань категорії А, а також до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science.

Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

1. В вступі було б доцільно провести порівняльний аналіз переваг і недоліків кластерних і комбінованих іонно-плазмових систем.
2. В розд.2, при вимірюваннях параметрів плазми електричним зондом не обговорюється вплив коливань потенціалу плазми на вольт-амперні характеристики зонда та вторинної емісії з зонда.
3. При оптичних вимірюваннях розподілу випромінювання в установці КПС доцільно вказати просторову роздільну здатність оптичного приладу.
4. В деяких рисунках є надписи англійською мовою і підписи до них не мають відповідних пояснень.
5. В підрозд.5.3 немає достатнього обґрунтування, чому в моделі з ізольованим магнетроном товщина анодного шару вважається постійною величиною.

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

Загальні висновки

Вважаю, що дисертація Єфименко Ніни Олександрівни «Формування комбінованих потоків активованих частинок в плазмових системах зі схрещеними ЕН-полями для синтезу наноструктурних покриттів» є актуальною, містить нові достовірні результати, має важливе прикладне й

теоретичне значення та є завершеною науковою працею, яка відповідає всім вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» (з наступними змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої Ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р., а її автор, Єфименко Ніна Олександрівна, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

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

Офіційний опонент,
доктор технічних наук,
професор кафедри електронних
пристроїв та систем Національного
технічного університету України
«Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»

Анатолій КУЗЬМИЧЄВ

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 11:07:48 22.01.2024

Назва файлу з підписом: Відгук Кузьмичев А.І..doc.asice
Розмір файлу з підписом: 22.1 КБ

Перевірені файли:
Назва файлу без підпису: Відгук Кузьмичев А.І..doc
Розмір файлу без підпису: 60.5 КБ

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

Підписувач: КУЗЬМИЧЕВ АНАТОЛІЙ ІВАНОВИЧ
П.І.Б.: КУЗЬМИЧЕВ АНАТОЛІЙ ІВАНОВИЧ
Країна: Україна
РНОКПП: 1753235059
Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 11:06:25 22.01.2024
Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"
Серійний номер: 5E984D526F82F38F040000009AE3E200565FC104
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 ГІРЦІ
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

Відгук

офіційного опонента, кандидата фізико-математичних наук (спеціальність 01.04.08 - фізика плазми), старшого наукового співробітника, завідувача відділу Плазмодинаміки Інституту фізики плазми Національного наукового центру Харківський фізико-технічний інститут Махляя Вадима Олександровича на дисертаційну роботу Єфименко Ніни Олександрівни «Формування комбінованих потоків активованих частинок в плазмових системах зі схрещеними ЕН-полями для синтезу наноструктурних покриттів», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

Обґрунтування вибору теми дослідження

Дисертація Єфименко Ніни Олександрівни на здобуття ступеня доктора філософії присвячена розв'язанню актуальних задач пов'язаних з дослідженням іонно-плазмових систем різного типу, що знаходять широке технологічне застосування. Зокрема, експериментально досліджено характеристики оригінальної кластерної іонно-плазмової системи, а також двох модифікацій комбінованої магнетронної іонно-променевої /плазмової системи, які успішно застосовуються для синтезу широкого кола сполук (оксидів, нітридів і оксинітридів алюмінію та танталу тощо), для отримання високоякісних захисних покриттів для застосування у медицині. Слід

відзначити, що в дисертації також експериментально перевірено та теоретично обґрунтовано нову концепцію комбінованої магнетронної іонно-променевої/плазмової системи, яка дозволяє генерувати інтенсивні іон-електронні потоки з керованою енергією, що істотно підвищує ефективність таких систем з точки зору технологічних застосувань.

Таким чином, можна зазначити, що тема дисертації Єфименко Ніни Олександрівни є **актуальною**, а її результати є **важливими** для подальшого розвитку різноманітних іонно-плазмових систем.

Загальна характеристика дисертаційної роботи

Дисертація складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, який містить 144 найменувань, та двох додатків. Робота містить 82 рисунки. Загальний обсяг роботи складає 174 сторінок, з них основного тексту – 125 сторінок, що відповідає вимогам до дисертації на здобуття ступеня доктора філософії.

У вступі наведено обґрунтування вибору теми дослідження, визначено мету і завдання, об'єкт, предмет, методи дослідження, віддзеркалено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів дисертації, зазначено особистий внесок здобувача при виконанні дисертаційного дослідження, наведено перелік наукових публікацій здобувача за темою дисертації та дані щодо апробації матеріалів дисертації, встановлено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами, .

У першому розділі наведено огляд сучасної науково-технічної літератури в галузі іонно-плазмових технологій нанесення покриттів. Зокрема надано характеристику магнетронним розпорозувальним системам, які використовують для нанесення складно-композиційних мікро- та наноструктурних покриттів. Показано необхідність подальшого розробки та вдосконалення новітніх кластерних і комбінованих систем нанесення різних функціональних покриттів.

Другий розділ присвячений опису оригінальної кластерної іонно-променевої системи. Докладно розглянуті основні технічні характеристики складових частин системи. Розглянуто основні плазмові модулі, які складають систему – магнетрон низького тиску та ВЧ індукційне джерело низькотемпературної плазми та хімічно-активних частинок, та їхні розрядні характеристики. Досліджено параметри плазми та взаємодію між плазмою та поверхнею, що обробляється. Наведено фізичні та технологічні характеристики кластерної магнетронної системи.

У третьому розділі описано комбіновану магнетронну іонно-променева систему, що дозволяє проводити дослідження процесів нанесення як провідних, так і діелектричних композиційних покриттів з використанням іонного бомбардування. Досліджено параметри іонного та електронного потоків, які бомбардують зростаюче покриття. Проведена технологічна апробація магнетронної іонно-променевої системи шляхом синтезу діелектричних покриттів типу Al_2O_3 з різною структурою.

У четвертому розділі описано режими роботи додаткового джерела іонів в комбінованій магнетронній іонній-плазмовій системі та експериментальні дослідження параметрів системи. Розроблена конструкція магнетронної іонно-плазмової системи, яка дозволяє використовувати єдине джерело живлення для джерела іонів та магнетрона. Продемонстровано принципову можливість поєднання магнетронного розряду та джерела іонів холлівського типу в спільну систему, яка генерує скомпенсований іон-електронний (плазмовий) потік зі струмом, пропорційним потужності розряду до 1 кВт. Досліджена можливість керування енергією та густиною струму іонів у широкому діапазоні величин шляхом варіації величиною додаткового магнітного поля.

У п'ятому розділі наведено опис розробленої феноменологічної просторово-усередненої моделі комбінованого газового розряду в ЕН полях, яка побудована на загально визнаних у фізиці газового розряду і низькотемпературної плазми величинах. Показано, що модель якісно та

кількісно пояснює основні характеристики роботи комбінованої магнетронної іонно-плазмової системи від тиску робочого газу, електричної потужності та величини магнітного поля.

У висновках чітко сформульовано основні положення, що виносяться на захист.

Список використаних джерел містить наукові праці, які відображають сучасний стан наукових досліджень іонно-плазмових систем.

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».

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

Дисертаційну роботу виконано в Навчально-науковому інституті «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна відповідно до тематичних планів фундаментальних і прикладних науково-дослідних робіт. Результати досліджень дисертаційної роботи були здобуті в межах виконання науково-дослідних робіт з таких держбюджетних тем:

- 2017-2019 рр. НДР МОН України «Фізичні принципи іонно-плазмового синтезу та керування властивостями наноструктурних складно-композиційних покриттів». № ДР 0117U004855.
- 2020-2021.рр. НДР МОН України « Принципи формування діелектричних наноструктурних покриттів з окси-нитридів перехідних металів методом реактивного іонно-плазмового синтезу». № ДР 0120U102129.

- 2022-2023 рр. НДР МОН України «Біотолерантні покриття для імплантології: технології синтезу, керування властивостями, застосування в медицині». № ДР 0122U001658.
- 2023-2025 рр. НДР НФД України «Дослідження та розробка іонно-плазмових технологій синтезу багатофункціональних складно-композиційних покриттів для медичних імплантів та біобезпеки». № 2021.01/0204.

Найважливіші наукові результати, отримані дисертанткою

У дисертаційному дослідженні отримано низку нових та оригінальних результатів:

1. Вперше отримано обґрунтування технологій синтезу високоякісних покриттів з оксидів і оксинітридів алюмінію та танталу на основі експериментальних та технологічних досліджень кластерної іонно-плазмової системи.
2. Уперше здійснено послідовний синтез аморфної, γ - та α - фаз оксиду алюмінію за участю іонного бомбардування в магнетронній іонно-променевій системі за температури зразків менше 500° С.
3. Уперше експериментально показана можливість формування прианодного шару електронів у плазмовому режимі джерела іонів холловського типу завдяки інжекції електронів з магнетронного розряду.
4. Уперше обґрунтовано самоузгоджене керування напругою прианодного шару електронів у джерелі іонів холловського типу в плазмовому режимі шляхом варіації величини магнітного поля.
5. Уперше в комбінованій іонно-плазмовій системі отримано направлений компенсований іон-електронний потік з керованою енергією іонів у діапазоні (30-500) еВ і густиною струму до 30 мА/см².
6. Уперше розроблено і досліджено феноменологічну модель самоузгоджених станів магнетронного розряду з катодним і прианодним

шарами просторового заряду на основі законів збереження частинок і енергії та встановлено наявність сталого мінімуму напруги розряду.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів, одержаних Єфименко Н. О. при проведенні досліджень за темою дисертаційної роботи, забезпечується використанням добре відомих взаємодоповнюючих методів діагностики плазми та опромінених поверхонь, обґрунтуванням їх застосовності, порівнянням отриманих результатів із результатами робленої модельних досліджень. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані в індексованих наукових журналах та доповідалися на міжнародних наукових конференціях.

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**.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності

Дисертація Н.О.Єфименко є завершеною науково-дослідною роботою, у якій вирішено комплексну задачу, пов'язану з дослідженням основних методів нанесення тонких плівок та покриттів з додатковим іонним бомбардуванням. Результати досліджень повністю висвітлені в наукових публікаціях, матеріалах конференцій та відображені в змісті дисертації.

Апробація та публікації

Основні наукові та практичні результати роботи оприлюднені та обговорені на таких конференціях: XVI International workshop "Plasma electronics and new methods of acceleration" (Харків, Україна, 5-6 вересня, 2023 р.); 11 Міжнародній конференції «Nanomaterials: Application & Properties, NAP- 2021» (Одеса, Україна, 5-11 вересня, 2021 р.); 10 Міжнародній конференції "Nanomaterials: Applications and Properties", NAP-2020, (Одеса, Україна, 9-13 листопада, 2020 р.); 9 Міжнародній конференції "Nanomaterials: Applications and Properties", NAP-2019, (Одеса, Україна, 15-20 вересня, 2019 р.).

Результати дисертації належним чином представлено в 4 наукових статтях у вітчизняних фахових виданнях, що входять до списку фахових видань категорії А, а також до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science.

Наукове, теоретичне та практичне значення результатів дисертації

У роботі отримано ряд вагомих результатів, які є актуальними для розробки іонно-плазмового обладнання для мікро- і нанотехнологій нової генерації. Зокрема, розроблена і досліджена технологія реактивного іонно-плазмового синтезу біотолерантних покриттів на основі оксиду, нітриду, оксинітриду танталу з типовими для виробничих іонно-плазмових технологічних процесів травлення і модифікації поверхні, нанесення та синтезу тонких плівок. Результати досліджень можливо безпосередньо застосовувати на практиці, у співробітництві з науковцями Інституту ортопедії і травматології імені

Сітенка, для нанесення захисних і біо-сумісних покриттів на експериментальні вироби для імплантології.

Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації

1. В назві дисертації та в тексті використовують термін «активовані» частинки, але нажаль однозначного визначення такої термінології не надано.
2. В розділі 2, при вимірюваннях параметрів плазми електричним зондом було б доцільно визначити не тільки розподіл густини струму іонів, але також оцінити температуру електронів і їх густину.
3. На мій погляд, необхідно навести схему мас - спектрометричних вимірювань робочого газу в установці КПС, не зрозуміло, чи використовувалась додаткова система відкачки.
4. В розділі 3, на рис.3.9; 3.10 доцільно пояснити різницю між кривими «запалювання» та «згасання» магнетронного розряду.
5. Якість деяких рисунків є не достатня зокрема рис. 2.13, рис. 2.14. Використовують сленгові формулювання, наприклад «...загальний тиск газу, який вимірюється вакуумметром, може впасти до базового тиску аргону...» на мій погляд доречніше писати «загальний тиск газу, який вимірюється вакуумметром, може зменшитись до базового тиску аргону тиск газу»...

Однак зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку результатів дисертаційної роботи та обґрунтованість наведених здобувачкою висновків.

Загальні висновки

Дисертація Єфименко Ніни Олександрівни на тему «Формування комбінованих потоків активованих частинок в плазмових системах зі схрещеними ЕН-полями для синтезу наноструктурних покриттів» є

завершеним науковим дослідженням, є актуальною, має наукову новизну та практичну значимість.

Тема та зміст дисертації повністю відповідають 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 Єфименко Ніна Олександрівна **заслуговує на присудження наукового ступеня** доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

Офіційний опонент,
кандидат фізико-математичних
наук, старший науковий
співробітник, завідувач відділу
Плазмодинаміки Інституту фізики
плазми
Національного наукового центру
«Харківський фізико-технічний інститут»

Вадим МАХЛАЙ

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 23:01:00 24.01.2024

Назва файлу з підписом: Makhlai_fin.pdf Розмір файлу з підписом: 584.2 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: Makhlai_fin.pdf Розмір файлу без підпису: 547.9 КБ

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

Підписувач: МАХЛАЙ ВАДИМ ОЛЕКСАНДРОВИЧ П.І.Б.:

МАХЛАЙ ВАДИМ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Країна: Україна РНОКПП:

2593301979

Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 23:00:59 24.01.2024

Сертифікат виданий: АЦСК АТ КБ «ПРИВАТБАНК»

Серійний номер: 248197DDFAB977E504000000C59B2201B9D77104

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145 Тип

підпису: Удосконалений

Тип контейнера: Підписаний PDF-файл (PAdES) Формат підпису: 3
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 ГРЦІ,
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, професора ЗВО, в.о. завідувача кафедри матеріалів реакторобудування та фізичних технологій ННІ «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Литовченка Сергія Володимировича на дисертаційну роботу Єфименко Ніни Олександрівни «Формування комбінованих потоків активованих частинок в плазмових системах зі схрещеними ЕН-полями для синтезу наноструктурних покриттів», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

Обґрунтування вибору теми дослідження.

Подальший розвиток мікро- і нанотехнологій у сфері інженерії поверхні твердих тіл неможливий без удосконалення існуючого обладнання та створення нових технологічних засобів. У цьому контексті важливим напрямом є розробка кластерних та комбінованих іонно-плазмових систем (ІПС), що складаються з низки плазмових модулів. Такі системи надають можливість незалежного керування енергією та густиною струму іонів, електронів та хімічно активних частинок. ІПС, де комбінується електричне та магнітне поле, відповідають сучасним вимогам технологій травлення та формування тонких (товщиною менше 10 мкм) плівок. Магнітне поле дозволяє локалізувати плазму в потрібній області, знизити робочий тиск газу і створювати направлені потоки активованих частинок разом з електричним

полем. Серед різних типів ІПС можна виділити магнетронні розпорозувальні системи (МРС), планарні газорозрядні магнетрони, джерела іонів холлівського типу з прианодним шаром електронів та ВЧ індукційні джерела плазми. Комбінацією цих пристроїв можна реалізовувати різні технології нанесення функціональних покриттів з іонним бомбардуванням. Додаткове іонне бомбардування сприяє керуванню процесом зростання плівки та формуванню щільних високоякісних плівок, що у багатьох випадках необхідно для синтезу складних наноструктурованих покриттів.

Дисертаційна робота присвячена комплексним дослідженням оригінальної кластерної іонно-плазмової системи (КІПС) та новітньої комбінованої магнетронної іонно-плазмової системи (МІПС) у двох модифікаціях. Отримані результати покращують технології синтезу оксидів, нітридів і оксинітридів алюмінію та танталу для виробів імплантології в медицині. У роботі також розглянуто нову концепцію МІПС, яка забезпечує генерацію потужних іонно-електронних потоків з керованою енергією. Результати цієї роботи є важливими як для фундаментальних досліджень в галузі газового розряду і низькотемпературної плазми в магнітному полі, так і для розробки нового іонно-плазмового обладнання для мікро- і нанотехнологій. На підставі вищезазначеного можна стверджувати, що дисертаційна робота Єфименко Ніни Олександрівни є **актуальною**, а її результати є **важливими** для подальших досліджень різноманітних іонно-плазмових систем.

Загальна характеристика дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота виконана в Харківському національному університеті імені В.Н. Каразіна. Дисертаційна робота складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, 5 розділів, висновків, переліку використаної літератури, який містить 144 найменування, та двох додатків. Загальний обсяг роботи складає 174 сторінки. Робота ілюстрована 82 рисунками.

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 здобувачки 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 оглянуто** оглянуті теоретичні та експериментальні напрацювання стосовно магнетронних розпорозувальних систем, у тому числі тих, що оснащені системами додаткового іонного бомбардування. При написанні використано відповідні наукові джерела, більшість з яких – це оригінальні сучасні статті, що відповідає вимогам до оформлення дисертації.

У **другому розділі** дисертації наведено опис експериментальної кластерної іонно-плазмової системи для нанесення покриттів. Досліджено просторовий розподіл потоків заряджених частинок у робочій камері, проведено оптичний та мас-спектрометричний аналіз плазми при магнетронному нанесенні плівок оксинітриду танталу, а також визначено оптимальну технологію нанесення плівок пентаоксиду танталу.

У **третьому розділі** представлено конструкцію та результати експериментальних досліджень нової комбінованої магнетронної іонно-променевої системи (МППС), зокрема основні розрядні характеристики магнетрона та джерела іонів. Проведено вимірювання розподілу густини струму іонів та технологічну апробацію МППС для синтезу плівок оксиду алюмінію.

У **четвертому розділі** представлено іншу модифікацію МППС – іонно-плазмову. Досліджено залежності параметрів системи від тиску робочого газу, магнітного поля, а також вольт-амперні характеристики системи. Визначено два режими роботи при спільному джерелі електроживлення магнетронного розряду та джерела іонів.

У **п'ятому розділі** представлено феноменологічну модель сталого стану комбінованого газового розряду з магнітним полем в плазмовому режимі.

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

Список використаних джерел містить посилання на відповідні літературні та власні публікації за темою дисертації. До кожного розділу також наведено висновки, які підсумовують основні положення. Усе це вказує на завершеність цієї роботи.

Наукова новизна полягає у таких основних результатах:

1. Завдяки науковим та технологічним дослідженням процесів у кластерних іонно-плазмових системах було вперше обґрунтовано методи створення високоякісних покриттів з оксидів і оксинітридів алюмінію та танталу.
2. Вперше було синтезовано послідовно аморфну, γ - та α - фази оксиду алюмінію, використовуючи іонне бомбардування у магнетронній іонно-променевої системі при температурі менше 500 °С.
3. Експериментально доведено можливість формування прианодного шару електронів у джерелі іонів холлівського типу без розжарювального катоду завдяки інжекції електронів з магнетронного розряду.
4. Вперше експериментально визначено та теоретично обґрунтовано метод самоузгодженого керування напругою прианодного шару електронів у джерелі іонів холлівського типу в плазмовому режимі з застосуванням магнітного поля.
5. В комбінованій іонно-плазмовій системі вперше отримано направлений компенсований іон-електронний потік з керованою енергією іонів у діапазоні від 30 еВ до 500 еВ і густиною струму до 30 мА/см².

6. Вперше розроблено феноменологічну модель самоузгоджених станів магнетронного розряду з катодним і прианодними шарами просторового заряду і встановлено наявність сталого мінімуму напруги розряду.

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

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

Апробація та публікації.

Основні результати роботи оприлюднені та обговорені **на 4 конференціях**: 11 Міжнародній конференції «Nanomaterials: Application & Properties, NAP-2021» (Одеса, Україна, 5-11 вересня, 2021 р.); 10 Міжнародній конференції “Nanomaterials: Applications and Properties”, NAP-2020, (Одеса, Україна, 9-13 листопада, 2020 р.); 9 Міжнародній конференції “Nanomaterials: Applications and Properties”, NAP-2019, (Одеса, Україна, 15-20 вересня, 2019 р.); XVI International workshop “Plasma electronics and new methods of acceleration” (Харків, Україна, 5-6 вересня, 2023 р.).

Результати дисертації повністю висвітлено в **4 наукових статтях** у фахових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science.

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.

У рамках дисертаційної роботи були отримані результати експериментальних досліджень іонно-плазмових систем, де використовувалися комбіновані електричне та магнітне поля. Ці дослідження були проведені в рамках фундаментальних та прикладних науково-дослідних робіт за державним замовленням. Отримані результати є актуальними і є вагомими для подальшого розвитку іонно-плазмового обладнання, зокрема для мікро- та нанотехнологій.

В рамках дослідження було розглянуто реактивний іонно-плазмовий синтез біотолерантних покриттів на основі оксиду, нітриду та оксинітриду танталу. Ці дослідження проводилися з використанням оригінальних іонно-плазмових систем, таких як КПС і МПС, з застосуванням робочих характеристик, що є характерними для виробничих іонно-плазмових технологічних процесів (травлення, модифікація поверхні, нанесення та синтез тонких плівок).

Отримані результати досліджень можна використовувати на практиці. Результатом співпраці з вченими Інституту патології хребта та суглобів імені

проф. М.І. Ситенка НАМН України стало створення захисних та біосумісних покриттів на експериментальних виробках для імплантології.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності.

Дисертація Н.О.Єфименко є завершеною науково-дослідною роботою, у якій вирішено комплексну задачу, пов'язану з дослідженням основних методів нанесення тонких плівок та покриттів з додатковим іонним бомбардуванням. Результати досліджень повністю висвітлені в наукових публікаціях, матеріалах конференцій та відображені в змісті дисертації.

Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

1. У розділі 1 було б доцільно навести діаграму структурних зон Торнтонна, удосконалену Андерсом для систем нанесення покриттів з додатковим іонним бомбардуванням.

2. У розділі 2, рис. 2.12, немає пояснень, як визначалась концентрація кисню в плівці оксинітриду танталу в залежності від парціального тиску кисню в робочій камері.

3. У розділі 3 формування нанокристалів α -фази Al_2O_3 в отриманій плівці доцільно крім даних XRD підтвердити іншими методами.

4. Деякі рисунки, наприклад рис.2.14, 3.18, потребують додаткових пояснень.

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

Загальні висновки.

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

Дисертаційна праця Єфименко Ніни Олександрівни «Формування комбінованих потоків активованих частинок в плазмових системах зі схрещеними ЕН-полями для синтезу наноструктурних покриттів» 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 Єфименко Ніна Олександрівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 – «Природничі науки» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

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

Сергій ЛИТОВЧЕНКО

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 11:38:33 29.01.2024

Назва файлу з підписом: Рецензія Литовченко_фініш.pdf.p7s
Розмір файлу з підписом: 228.1 КБ

Перевірені файли:
Назва файлу без підпису: Рецензія Литовченко_фініш.pdf
Розмір файлу без підпису: 210.9 КБ

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

Підписувач: ЛИТОВЧЕНКО СЕРГІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ
П.І.Б.: ЛИТОВЧЕНКО СЕРГІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ
Країна: Україна
РНОКПП: 2128001216
Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 11:38:28 29.01.2024
Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"
Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000E6DC22014D767204
Алгоритм підпису: ДСТУ 4145
Тип підпису: Удосконалений
Тип контейнера: Підпис та дані в одному файлі (CAAdES enveloped)
Формат підпису: З повними даними ЦСК для перевірки (CAAdES-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 ННІ «Фізико-технічний факультет» Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна Лісовського Валерія Олександровича на дисертаційну роботу Єфименко Ніни Олександрівни «Формування комбінованих потоків активованих частинок в плазмових системах зі схрещеними ЕН-полями для синтезу наноструктурних покриттів», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» з галузі знань 10 – «Природничі науки».

Обґрунтування вибору теми дослідження.

З метою постійного розвитку та удосконалення мікро- та нанотехнологій у сфері інженерії поверхні твердих тіл, важливим завданням є покращення існуючого обладнання та створення нових технологічних засобів. Одним з перспективних напрямків є розробка і вдосконалення кластерних і комбінованих іонно-плазмових систем (КІПС), складених із численних плазмових модулів. Ці нові системи надають можливість незалежного регулювання енергії та густини струму іонів, електронів та хімічно активних частинок. Особливо важливими є КІПС, в яких поєднуються електричне та магнітне поля, оскільки вони відповідають сучасним вимогам у галузі травлення та нанесення тонких плівок товщиною менше 10 мікрон.

Використання магнітного поля дозволяє локалізувати плазму у необхідних областях, знижує робочий тиск газу і дозволяє створювати напрямлені потоки активованих частинок. Можна виділити такі типи КІПС, як

магнетронні розпорозувальні системи (МРС, джерела іонів холлівського типу з прианодним шаром електронів та ВЧ індукційні джерела плазми. Поєднання цих пристроїв дозволяє використовувати сучасні методи нанесення функціональних покриттів з іонним бомбардуванням. Додаткове іонне бомбардування сприяє керуванню процесом зростання плівок, створенню щільних високоякісних плівок та синтезу складних нано-структурованих покриттів.

Дисертаційна робота присвячена комплексному вивченню унікальної кластерної іонно-плазмової системи (КІПС) та новітньої комбінованої магнетронної іонно-плазмової системи (МІПС) у двох модифікаціях. Отримані результати вдосконалюють технології синтезу оксидів, нітридів та оксинітридів алюмінію та танталу, що мають важливе застосування у медицині, зокрема в галузі імплантології. Крім того, досліджено нову концепцію МІПС, яка дозволяє генерувати потужні іонно-електронні потоки з контрольованою енергією. Отримані результати мають велике значення як для фундаментальних досліджень у галузі газового розряду та низькотемпературної плазми в магнітному полі, так і для розробки нового іонно-плазмового обладнання для мікро- та нанотехнологій. Зважаючи на вищезазначене, можна стверджувати, що дисертація Єфименко Ніни Олександрівни є повністю **актуальною**, а її результати є **важливими** для майбутніх досліджень різноманітних іонно-плазмових систем.

Загальна характеристика дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота виконана в Харківському національному університеті імені В.Н. Каразіна. Дисертаційна робота складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, 5 розділів, висновків, переліку використаної літератури, який містить 144 найменування та двох додатків. Загальний обсяг роботи складає 174 сторінки. Робота ілюстрована 82 рисунками.

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 здобувачки 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** дисертації проведено глибокий аналіз літератури, що присвячений вивченню магнетронних розпорошувальних систем. Було докладно досліджено теоретичні та експериментальні досягнення в цій області, зокрема враховуючи системи, які включають в себе джерела іонів різних типів, для додаткового іонного бомбардування зростаючих покриттів. Аналіз ґрунтується на передових наукових джерелах, включаючи сучасні оригінальні статті, які відповідають найвищим стандартам у даній області дослідження.

У **другому розділі** дисертації подається вичерпний опис експериментальної кластерної іонно-плазмової системи (КІПС), яка призначена для створення стехіометричних покриттів. Було проведено детальне дослідження розподілу заряджених частинок в робочій камері, використовуючи як оптичні, так і мас-спектрометричні методи. Це дозволило отримати глибоке розуміння процесів, що відбуваються під час магнетронного нанесення плівок оксинітрида танталу. Робота також включає в себе дослідження оптимальних технологій нанесення пентаоксиду танталу, що сприяє розвитку більш ефективних методів і покращенню якості покриттів. Результати, отримані в цьому розділі, надають важливий внесок у розумінні процесів нанесення плівок та можуть бути корисні для подальших наукових та практичних досліджень у цій області.

У **третьому розділі** дисертації вперше представлено концепцію та результати експериментальних досліджень нового та інноваційного рішення - комбінованої магнетронної іонно-променевої системи (МІПС). Дослідницький підхід включає в себе аналіз основних розрядних параметрів магнетрона та джерела іонів, що лежать в основі цієї системи. Було проведено вимірювання розподілу густини струму іонів. Крім того, успішно проведено технологічну апробацію МІПС для синтезу плівок оксиду алюмінію, що відкриває нові

можливості для використання цієї системи в промислових та наукових застосуваннях.

У **четвертому розділі** описано іншу модифікацію магнетронної іонно-променевої системи - магнетронну іонно-плазмову систему. Були проведені ретельні дослідження, спрямовані на вивчення залежностей її параметрів від тиску робочого газу і магнітного поля. Ця робота дозволила визначити два основних режими роботи цієї модифікованої системи при спільному джерелі живлення для магнетронного розряду та джерела іонів. Ці результати відкривають нові можливості для наукового дослідження та промислового застосування в галузі тонкоплівкових технологій та синтезу матеріалів.

У **п'ятому розділі** наведено феноменологічну (глобальну) модель сталого стану комбінованого газового розряду з магнітним полем в плазмовому режимі.

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

Список використаних джерел містить посилання на відповідні літературні та власні публікації за темою дисертації. До кожного розділу також наведено висновки, що підсумовують основні положення. Усе це вказує на завершеність цієї роботи.

Наукова новизна полягає у таких основних результатах:

1. Науковим та технологічними дослідженнями у сфері магнетронного розпорошення, з використанням кластерної іонно-плазмової системи, були обґрунтовані методи створення високоякісних покриттів з оксидів і оксинітридів алюмінію та танталу.
2. Вперше було синтезовано послідовно аморфну γ - та α - фази оксиду алюмінію, використовуючи іонне бомбардування у магнетронній іонно-променевої системі при температурі менше 500° С.
3. Експериментально було доведено можливість формування прианодного шару електронів у джерелі іонів холлівського типу без розжарювального катоду, завдяки інжекції електронів з магнетронного розряду.

4. Вперше було експериментально визначено та теоретично обґрунтовано метод самоузгодженого керування напругою прианодного шару електронів у джерелі іонів холлівського типу в плазмовому режимі за допомогою магнітного поля.
5. В комбінованій іонно-плазмовій системі вперше отримано направлений компенсований іон-електронний потік з керованою енергією іонів у діапазоні від 30 до 500 еВ і густиною струму до 30 мА/см².
6. Вперше розроблена феноменологічна модель самоузгоджених станів магнетронного розряду з катодним і прианодними шарами просторового заряду і встановлено наявність сталого мінімуму напруги розряду.

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

Аналіз тексту дисертації та змісту публікацій Єфименко Н.О. 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.

Апробація та публікації.

Основні результати роботи оприлюднені та обговорені **на 4 конференціях**: 11 Міжнародній конференції «Nanomaterials: Application & Properties, NAP-2021» (Одеса, Україна, 5-11 вересня, 2021 р.); 10 Міжнародній конференції “Nanomaterials: Applications and Properties”, NAP-2020, (Одеса, Україна, 9-13 листопада, 2020 р.); 9 Міжнародній конференції “Nanomaterials: Applications and Properties”, NAP-2019, (Одеса, Україна, 15-20 вересня, 2019 р.); XVI International workshop “Plasma electronics and new methods of acceleration” (Харків, Україна, 5-6 вересня, 2023 р.).

Результати дисертації повністю висвітлено в **4 наукових статтях** у фахових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science.

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.

У рамках дисертаційної роботи були досягнуті значущі результати, отримані завдяки експериментальним дослідженням іонно-плазмових систем, які використовують електричне та магнітне поле. Ці дослідження були проведені у рамках фундаментальних та прикладних науково-дослідних проектів. Отримані результати мають велике практичне значення та можуть сприяти подальшому розвитку іонно-плазмового обладнання, зокрема в мікро- та нанотехнологіях.

В рамках цих досліджень було розглянуто можливість реактивного іонно-плазмового синтезу біотолерантних покриттів на основі оксиду, нітриду та оксинітриду танталу. Ці дослідження були проведені з використанням оригінальних іонно-плазмових систем, таких як кластерна іонно-плазмова система, магнетронна іонно-променева система (КІПС) і магнетронна іонно-

плазмова система (МППС), і включали в себе параметри, що характерні як для індустриальних процесів іонно-плазмових технологій, таких як обробка поверхонь, нанесення покриттів та синтез тонких плівок, так і для фундаментальних досліджень.

Отримані результати є безпосередньо застосовними на практиці. Співпраця з вченими Інституту ортопедії і травматології імені Сітенка дозволила використовувати ці дослідження для створення захисних та біологічно сумісних покриттів на експериментальних імплантатах, що мають застосування в сфері імплантології.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності.

Дисертація Н.О.Єфименко є завершеною науково-дослідною роботою, у якій вирішено комплексну задачу, пов'язану з дослідженням основних методів нанесення тонких плівок та покриттів з додатковим іонним бомбардуванням. Результати досліджень повністю висвітлені в наукових публікаціях, матеріалах конференцій та відображені в змісті дисертації.

Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації.

1. На Рис. 2.5 наведено типові розподіли густини струму зонда. Але в тексті та в підписі до рисунка не пояснено, для якого сорту газу виконано зондові вимірювання.

2. На Рисунку 3.1 джерело живлення PS2 підключено до ІЧ нагрівача, а не до столика, як стверджується в тексті. Також нумерація джерел живлення PS3–PS6 на цьому рисунку не відповідає опису, наведеному в тексті.

3. У пункті «3.3. Технологічна апробація МППС» не пояснено, на які саме зразки осаджувалися плівки Al_2O_3 . Й лише з Рис.3.19 можна припустити, що зразки були з кремнію.

4. Практично на усіх рисунках підписи на осях наведено англійською, а не українською.

5. Є деякі зауваження до тексту. Наприклад, електрони *здатні* іонізувати молекули, а не *здібні*, як написано на стор.40. У розділі 1.2 одночасно використовуються слова «підкладка», «підкладинка» та «підложка», хоча правильним є лише перше з них. Криві «запалення» (стор. 76) насправді є

кривими запалювання. У багатьох місцях тексту написано «щільність» струму, хоча струм характеризується «густиною».

Але маю відзначити, що наведені зауваження жодним чином не зменшують якість дисертаційної роботи та обґрунтованість висновків.

Загальні висновки

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

Дисертаційна праця Єфименко Ніни Олександрівни «Формування комбінованих потоків активованих частинок в плазмових системах зі схрещеними ен-полями для синтезу наноструктурних покриттів» 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 Єфименко Ніна Олександрівна 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

Валерій ЛІСОВСЬКИЙ

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 09:14:57 23.01.2024

Назва файлу з підписом: Рецензія Лісовський_.pdf.asice
Розмір файлу з підписом: 234.4 КБ

Перевірені файли:
Назва файлу без підпису: Рецензія Лісовський_.pdf
Розмір файлу без підпису: 244.6 КБ

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

Підписувач: ЛІСОВСЬКИЙ ВАЛЕРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ
П.І.Б.: ЛІСОВСЬКИЙ ВАЛЕРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ
Країна: Україна
РНОКПП: 2360410555
Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 09:15:05
23.01.2024
Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"
Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000662F4301245DC204
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