

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи Харківського
національного університету імені В.Н. Каразіна

Катрич В. О.



АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

про виконану роботу у 2020 році в рамках реалізації проєкту
із виконання наукових досліджень і розробок

«Модифікація поверхні твердого тіла під дією плазми та пучків заряджених частинок»

Назва конкурсу: «Підтримка досліджень провідних та молодих учених»

Реєстраційний номер Проєкту: 2020.02/0234

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок (реєстраційний номер та назва Проєкту) 2020.02/0234 «Модифікація поверхні твердого тіла під дією плазми та пучків заряджених частинок»

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих учених» протокол від «03» листопада 2020 року № 33

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Тривалість виконання Проєкту

Початок – дата укладання Договору про виконання наукових досліджень і розробок;

Закінчення – 2022 рік.

Загальна вартість Проєкту, грн. 10 340 000

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 660 000

2-й рік 4 840 000

3-й рік 4 840 000

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту буде залучено 10 виконавців, з них:

доктори наук 3;

кандидати наук 2;

інші працівники 5.

3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(І) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ

Грантоотримувач: Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Залучення субвиконавців не передбачається.

4. ОПИС ПРОЄКТУ

4.1. Мета Проєкту (до 200 знаків)

Оптимізувати процеси формування покриттів та їх модифікації, дослідити вплив інтенсивних пучків заряджених частинок, потоків плазми та випромінювання на поверхню твердих тіл, їх структуру та експлуатаційні характеристики.

4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)

Експериментально вивчити умови підпалу розрядів, динаміку самостійного пучкового-плазмового розряду та визначити оптимальні параметри пучків заряджених частинок для отримання наперед визначених характеристик покриттів. Провести модифікацію багат шарових покриттів при імпульсному та стаціонарному впливі плазми та пучків заряджених частинок. Дослідити особливості формування складу, структури покриттів для отримання покращених трибологічних характеристик.

4.3. Детальний зміст Проєкту:

- Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Для осадження та модифікації поверхні застосовують плазмові технології на основі стаціонарних та імпульсних газових розрядів. Альтернативою традиційним методам отримання пучків заряджених частинок, що мають низку недоліків, є самостійний плазмово-пучковий розряд. Одним із методом підвищення експлуатаційних характеристик виробів є застосування плазмо-пучкового розряду для отримання багат шарових покриттів з нанометровою товщиною шарів.

- Новизна Проєкту (до 400 знаків)

Дослідження умов формування та режимів горіння плазмового розряду буде проведено для різних геометрій електродів. Уточненні механізми формування та динаміки самостійного пучково-плазмового розряду. Досліджено фізичні механізми формування високоефективних захисних покриттів на основі шарів, виготовлених на основі багатокомпонентних сплавів тугоплавких металів. Залучені взаємодоповнюючі методи діагностики морфологічних та структурних властивостей твердого тіла.

- Методологія дослідження (до 400 знаків)

Будуть виміряні криві запалювання та промодельована еволюція параметрів плазми під час формування розрядів. Для формування покриттів передбачається залучення незалежних джерел зародження та активації частинок і механізмів формування потоків цих частинок у вакуумно-дуговому розряді. Модифікація покриттів під впливом пучків заряджених частинок буде проводитись у плазмовій електронно-променевої системі, а плазмою високої густини – в сильнострумовому діоді.

5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/ в рамках реалізації Проєкту, зокрема:

5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)

Було досліджено запалювання розряду постійного струму між плоскими електродами у довгій трубці. Використовувалися дві різні експериментальні методики: 1) вимірювалась пробійна напруга в широкому діапазоні тиску газу p , при цьому відстань між електродами L підтримувалась фіксованою; 2) при фіксованому тиску газу p вимірювалась пробійна напруга для різних значень відстані між електродами L . Показано, що на кривих запалювання, виміряних першим методом, мінімуми лежать на прямій лінії, яка відповідає максимальній іонізаційній спроможності електронів (константі Столетова), а праві гілки усіх кривих наближаються одна до одної та до кривої для вузьких зазорів між електродами. Ліві гілки кривих, виміряних за допомогою другого метода, для всіх значень тиску співпадають, тому що вони відповідають

вузьким зазорам, коли виконується закон Пашена. У мінімумі таких кривих запалювання іонізаційна спроможність електронів не є максимальною внаслідок значних дифузійних втрат електронів. Отримані результати дозволять оптимізувати умови створення плазми у газорозрядних лазерах.

Також проведено експериментальне дослідження особливостей пробою газу між електродами з різною геометрією у діапазоні тиску азоту 0,03 – 200 Торр. У результаті встановлено, що характерною рисою кривих залежності пробійної напруги від тиску газу є наявність протяжних горизонтальних ділянок на кривих пробою. Вони значно розширюють діапазон тиску газу, в якому можливо створити плазму у різних технологічних системах на базі розряду постійного струму. Сформульовано принцип формування кривої пробою газу між електродами з непостійним зазором: коли у проміжку є силові лінії різної довжини, крива запалювання складається з трьох частин: ліва гілка відповідає кривій Пашена для найдовшого шляху пробою, права – для найкоротшого, а між ними існує горизонтальна ділянка з мінімальною напругою, де пробій газу відбувається за певним оптимальним шляхом, який автоматично обирається таким чином, щоб напруга пробою була найнижчою, тобто відповідала точці Столетова.

Було досліджено запалювання високочастотного ємнісного розряду в ацетилені. ВЧ криві запалювання були виміряні в діапазоні відстаней між плоскими електродами від 4,5 мм до 30 мм при частоті 13,56 МГц. В діапазоні ВЧ пробійних напруг до 2000 В на кривих запалювання спостерігаються дифузійно-дрейфова та Пашенівська гілки. Дифузійно-дрейфові гілки мають область неоднозначної залежності ВЧ пробійної напруги від тиску газу й, відповідно, точку повороту. Горіння розряду зліва від цієї точки повороту може бути нестабільним, тому з'ясування умов пробою газу дозволить більш ефективно підтримувати розряд в ацетилені й осаджувати покриття з поліацетилену та його похідних.

Експериментально досліджено мікросекундний біполярний імпульсний розряд в діапазоні частот (від 20 до 300 кГц) і коефіцієнтах заповнення від 11 до 97%. Показано, що у біполярному імпульсному розряді є додатковий параметр - коефіцієнт заповнення - за допомогою якого можна змінювати як осьову структуру розряду, так і перерозподіляти напругу між електродами. Спостерігалось, що при великих коефіцієнтах заповнення розряд може горіти як в звичайному сильнострумовому режимі (в якому поблизу кожного електрода існують катодні шари з інтенсивною іонізацією), так і у слабкострумовому режимі з малим розрядним струмом і слабким світінням. Спостерігалася також поява постійної напруги авто-зміщення через те, що у біполярному імпульсному розряді повністю зміщується осцилограма напруги вище або нижче щодо осі абсцис. Величина і знак цієї постійної напруги залежать від коефіцієнта заповнення, амплітуди і частоти поданої напруги. Виявлена постійна напруга авто-зміщення дозволить перерозподіляти напругу між електродами та керувати потоками позитивних іонів на матеріали, що оброблюються.

5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами

Запропонована нова методика керування потоками позитивних іонів на електроди та зразки, що оброблюються у мікросекундному біполярному імпульсному розряді, за допомогою перерозподілу напруги між електродами та виявленої постійної напруги авто-зміщення. Це дозволить суттєво підвищити швидкості плазмових технологічних процесів травління напівпровідних матеріалів та осадження функціональних покриттів на базі імпульсних розрядів у порівнянні з високочастотним ємнісним розрядом, який зазвичай використовується для таких технологій.

5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)

Результати досліджень формування та режимів горіння газових розрядів низького та середнього тиску важливі для низки плазмових технологій, в тому числі для отримання на модифікації захисних покриттів. Результати запалювання розряду у довгих трубках потрібні для

оптимізації потужних газорозрядних лазерів. Оптимізація умов створення та підтримання високочастотного ємнісного розряду важлива для технології осадження покриттів з поліацетилену та його похідних, яку можуть мати високу провідність.

5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.

Результати досліджень запалювання плазмового розряду можуть бути використані також для оптимізації конструкції мережевих фільтрів (які обмежують стрибки напруги), камер для плазмового азотування, в яких електроди можуть мати складну геометрію. З кривих запалювання високочастотного ємнісного розряду можливо визначити дрейфову швидкість електронів, яка необхідна для проведення гідродинамічного моделювання процесів у газових розрядах.

Анотований звіт не містить відомостей, заборонених до відкритого опублікування

Науковий керівник Проєкту:

професор кафедри матеріалів реакторобудування
та фізичних технологій
Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна

Береснев В.М.



(підпис)