

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Пугача Сергія Григоровича

**на тему «Вплив електронегативних домішок на електродинамічні
характеристики та синтез озону в безбар'єрному розряді з конфігурацією
електродів голка-площина»,
яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-
математичних наук за спеціальністю 01.04.08 – фізика плазми**

Актуальність теми дисертації

Електророзрядний метод синтезу озону за допомогою бар'єрного розряду є найбільш поширеним на цей час. Для надійної та довгострокової роботи електроди бар'єрного розряду дуже чутливі до вмісту вологи, пилу та навіть азоту. Але для нього є перспективна альтернатива, а саме газовий розряд атмосферного тиску в безбар'єрній системі електродів «голка – площа». Внаслідок відсутності бар'єру у цій системі розряд є стійким до негативного впливу наведених вище чинників. Тому з метою розробки нових методів генерації озону доцільними є ґрунтовні дослідження низькотемпературної нерівноважної плазми безбар'єрного розряду, а саме як електричних та електродинамічних, так й плазмохімічних процесів, що відбуваються у газорозрядній плазмі.

Дисертаційна робота присвячена експериментальному дослідженню властивостей низькотемпературної нерівноважної плазми безбар'єрного газового розряду в системі електродів «голка – площа» при атмосферному тиску суміші N_2-O_2 з домішками таких електронегативних газів, як озон та водяна пара. Особливу увагу було приділено визначенню та порівнянню ефективності синтезу озону за різних режимів розряду з позитивним або негативним потенціалом на голці. Отримані результати мають велике значення як для фундаментальних досліджень у галузі газового розряду та низькотемпературної плазми атмосферного тиску, так й для прикладних

застосувань. Зважаючи на вищезазначене, можна стверджувати, що дисертаційна робота Пугача Сергія Григоровича є **актуальною**, а наведені в ній результати є **важливими** для оптимізації вже наявного та розробки нового високоефективного обладнання для синтезу озону.

Структура і зміст дисертації

Дисертаційна робота виконана в Інституті плазмової електроніки та нових методів прискорювання Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» Національної академії наук України. Дисертаційна робота складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, 5 розділів, висновків, переліку використаної літератури, який містить 191 найменування, та додатка. Загальний обсяг роботи складає 175 сторінок. Робота ілюстрована 58 рисунками та 14 таблицями.

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** дисертації наведено короткий опис сучасного стану досліджень електродних конфігурацій з різко неоднорідним електричним полем та властивостей низькотемпературного нерівноважного розряду атмосферного тиску за позитивної та негативної полярності на вістрі. Описано розроблені експериментальні установки-стенди, використані методи вимірювання та діагностики розряду. Також представлено результати експериментальних досліджень безбар'єрного плазмового розряду в системі електродів «голка–площина» за позитивної полярності на вістрі в повітрі атмосферного тиску.

У **другому розділі** дисертації представлено результати експериментальних досліджень впливу електронегативних газів (озону та водяної пари) на характеристики чотирьох режимів розряду у суміші азоту та кисню атмосферного тиску за позитивної та негативної полярності постійної напруги, прикладеної до вістря в електродній конфігурації «голка-площина». Розглянуто такі випадки, як стаціонарний режим струму позитивної полярності (СПП); нестаціонарний режим струму з розповсюдженням первинних стримерів, що не досягають катоду НСПП (PS); нестаціонарний режим струму з розповсюдженням первинних стримерів, що замикають розрядний проміжок, та розповсюдженням вторинних стримерів НСПП (PS/SS); а також режим розряду за негативної полярності (НП). З'ясовано умови для процесів дисоціативного прилипання електронів до електронегативних газів для кожного з наведених режимів. Зокрема, показано, що такі умови є наявними в режимах НП, НСПП (PS), НСПП (PS/SS), на властивості яких впливають електронегативні домішки. Зазначено, що вплив електронегативних домішок на ВАХ СПП режиму розряду не спостерігається внаслідок відсутності у ньому умов для утворення негативних іонів. Результати, отримані в цьому розділі, надають важливий внесок у розуміння процесів, що відбуваються у газорозрядній плазмі в системі електродів «голка-площина» та можуть бути корисні для подальших наукових та практичних досліджень у цій області.

У **третьому розділі** дисертації наведено результати експериментального дослідження синтезу озону в електродній системі типу «голка-площина». Вперше визначено вплив електронегативних домішок та порівняно ефективність синтезу озону в чотирьох режимах розряду за позитивної та негативної полярності постійної напруги, прикладеної до вістря електродної системи. З'ясовано, що наявність умов для процесів дисоціативного прилипання електронів до молекули кисню є визначальною для синтезу озону в різних режимах розряду. Показано, що найменш ефективним для синтезу озону є режим СПП, в якому відсутні умови для дисоціативного

прилипання електронів. Найбільш ефективними виявилися режими розряду НСПП (PS/SS) та НСПП (PS), в яких імпульсна складова потужності, обумовлена процесами розповсюдження первинних та вторинних стримерів, є відповідальною за високу ефективність формування озону.

У **четвертому розділі** наведено результати експериментального дослідження ефективності синтезу озону в системі електродів «багато голок-площина». При цьому увагу приділено випадку позитивної полярності потенціалу на голках, до яких прикладалася імпульсна напруга у двох режимах: 1) короткий імпульс напруги тривалістю 300 нс, протягом якого можуть від анода до катода пройти первинний та вторинний стримери; 2) довгий імпульс напруги тривалістю 20 мс, протягом якого відбувається формування та проходження первинного, вторинного стримерів та дрейф іонів для відновлення умов та формування наступного циклу проходження стримерів у розрядному проміжку. З'ясовано, що застосування короткого імпульсу виключає витрати енергії на процеси дрейфу іонів між проходженням стримерів, що призводить до значного зменшення постійної складової розрядного струму та підвищення ефективності синтезу озону у декілька разів.

У **п'ятому розділі** наведено приклади застосування генераторів озону, що були розроблені за допомогою результатів досліджень безбар'єрних розрядів, отриманих у цій роботі. Показано суттєвий вплив обробки озono-повітряною сумішшю сільськогосподарських культур на зниження їх мікробіологічного зараження під час зберігання, запропоновано новий спосіб їх передпосівної обробки.

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.

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

Аналіз тексту дисертації та змісту публікацій Пугача С.Г. 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.

Дослідження викладені у дисертаційній роботі цілком **відповідають паспорту наукової спеціальності 01.04.08 – фізика плазми.**

Практичне значення результатів.

У рамках дисертаційної роботи були досягнуті значущі результати, отримані завдяки експериментальним дослідженням різних режимів безбар'єрних розрядів між електродами «голка-площина» атмосферного тиску у сумішах азоту та кисню з домішкою озону та водяної пари, в яких позитивний або негативний потенціал прикладався до вістря. Ці дослідження були проведені у рамках фундаментальних та прикладних науково-дослідних проектів. Отримані результати мають велике практичне значення та можуть сприяти подальшому розвитку обладнання з генерації озону.

Отримані в дисертаційній роботі результати досліджень становлять фізичну основу для створення плазмохімічних реакторів на базі безбар'єрного газового розряду для розвитку промислових генераторів озону. За результатами досліджень розроблено плазмохімічну систему для обробки сільськогосподарських культур. Продемонстровано вплив озону на зниження мікробіологічного грибкового зараження зернових культур. Запропоновано режими обробки озono-повітряною сумішшю для контролю грибкової

контамінації при зберіганні зерна пшениці та соняшнику. Запропоновано спосіб передпосівної обробки часнику озоном та отримано патент на корисну модель.

Повнота викладення результатів роботи

За темою дисертаційної роботи Пугача С.Г. опубліковано 20 наукових праць. З них 7 публікацій в спеціалізованих виданнях, які включено в міжнародні наукометричні бази Scopus і Web of Science, а також 13 робіт опубліковано в матеріалах і тезах доповідей на міжнародних наукових конференціях, що підтверджує високий науковий рівень виконаної роботи.

Зауваження

1. В дисертаційній роботі для визначення концентрації озону в газовій суміші використовувалось поглинання УФ випромінювання ртутної лампи (253,7 нм) його молекулами, як поширений метод вимірювання концентрації озону. Доцільно було надати пояснення, чому був обраний саме цей метод та про можливість поглинання цих УФ фотонів іншими молекулами, присутніми у газовій суміші (азоту, кисню).

2. В роботі доцільно було б розглянути різні режими розряду негативної полярності, так само, як розглянуті різні режими розряду позитивної полярності.

3. У розділі 1 одночасно наведені огляд літератури, опис експериментального обладнання, а також оригінальні результати дисертанта для суміші азоту та кисню. Доцільно було б експериментальні результати викладати на початку другого розділу, в якому наводяться дослідження ВАХ для режимів безбар'єрного розряду в сумішах азоту та кисню з домішками водяних парів та озону, а огляд літератури та опис обладнання навести окремими розділами.

4. В розділі 4 на рис. 4.2 та рис. 4.3 одиниці вимірювання фізичних величин по осі ординат позначенні російською мовою.

Висновок

Наведені зауваження не стосуються основних положень, що виносяться на захист, не знижують загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Пугача С.Г. і не впливають на достовірність отриманих результатів.

Дисертаційна робота «Вплив електронегативних домішок на електродинамічні характеристики та синтез озону в безбар'єрному розряді з конфігурацією електродів голка-площина» є цілком завершеною самостійною науковою роботою, виконаною на високому рівні, а її автор, Пугач Сергій Григорович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.08 – фізика плазми.

Офіційний опонент:

старший науковий співробітник,

доктор фізико-математичних наук,

професор кафедри матеріалів реакторобудування та фізичних технологій

Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна МОН України



Валерій ЛІСОВСЬКИЙ

60 ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ
Начальник відділу
кадрів

