

## **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**

Дисертаційна робота присвячена експериментальному дослідженню низькотемпературної нерівноважної плазми безбар'єрного газового розряду в системі електродів «голка – площина» при атмосферному тиску в суміші  $N_2-O_2$  з домішками електронегативних газів – різного вмісту кисню, озону та водяної пари. Саме ці гази використовуються в умовах застосування газового розряду для генерації озону. Генерація озону в газовому розряді є поширеним методом його отримання, при цьому найбільш традиційним є використання бар'єрного розряду. Дослідження низькотемпературної нерівноважної плазми безбар'єрного газового розряду спрямоване на розвиток альтернативного способу, який має свої переваги в умовах газових сумішей з наявністю водяних парів, азоту та навіть пилу. Електродна система безбар'єрного розряду є менш чутлива до домішок в кисневмісному робочому газі, що забезпечує більш стабільну та надійну роботу розряду. В дисертаційній роботі надані результати досліджень низькотемпературної нерівноважної плазми безбар'єрного розряду, його електричних, електродинамічних та плазмохімічних процесів, що відбуваються у газорозрядній плазмі й спрямовані на створення альтернативного способу генерації озону. В роботі розглядаються характеристики різних режимів безбар'єрного розряду з позитивним та негативним потенціалом на голчатому електроді, порівнюється ефективність синтезу озону в різних режимах розряду, що є доцільним для більш глибокого розуміння відмінностей розряду для подальшого його використання. Залученість досліджень, які лягли в основу дисертаційної роботи Пугача Сергія Григоровича, до міжнародних проєктів,

участь в Європейській Програмі з досліджень та інновацій Горизонт 2020 свідчить про їх безсумнівну актуальність та перспективність і важливість у застосуванні в новітніх системах генерації озону.

### **Структура і зміст дисертації**

Дисертаційна робота виконана в Інституті плазмової електроніки та нових методів прискорювання Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України та складається з анотацій українською та англійською мовами, вступу, 5 розділів, висновків, переліку використаних джерел - 191 робота та додатку. Загальний обсяг роботи складає 175 сторінок. Робота ілюстрована 58 рисунками та 14 таблицями.

У вступі наведено обґрунтування вибору теми, визначено мету й завдання дослідження, об'єкт, предмет та 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 й міжнародними грантовими проектами.

У першому розділі проведений огляд літературних джерел щодо сучасного стану досліджень розряду з різко неоднорідним електричним полем при позитивній та негативній полярності на вістрійному електроді. Надано опис експериментальних стендів, наведені методи вимірювання та діагностики розряду, що були використанні для отримання результатів роботи. Показані результати експериментальних досліджень розряду в системі електродів «голка-площина» за позитивної полярності на вістрі в повітрі атмосферного тиску.

У другому розділі досліджуються різні режими розряду атмосферного тиску з конфігурацією електродів голка-площина за позитивної та негативної полярності постійної напруги в залежності від складу робочого газу з різною концентрацією електронегативних домішок. Розглянутий вплив різного вмісту кисню в  $N_2$ - $O_2$  суміші і різного вмісту водяних парів та озону в повітрі на електричні і електродинамічні характеристики безбар'єрного розряду у чотирьох режимах розряду:

- стаціонарний режим струму позитивної полярності (СПП);
- нестаціонарний режим струму за позитивної полярності з розповсюдженням первинних стримерів, що не досягають катоду НСПП (PS);
- нестаціонарний режим струму за позитивної полярності з розповсюдженням первинних стримерів, які замикають розрядний проміжок, та розповсюдженням вторинних стримерів НСПП (PS/SS);
- негативної полярності (НП).

Показано, що вплив електронегативних домішок на електричні та електродинамічні характеристики розрядів в різних режимах (СПП, НП, НСПП (PS), НСПП (PS/SS)) пояснюється наявністю або відсутністю сприятливих умов в розряді щодо виникнення негативних іонів у процесах дисоціативного прилипання електронів до електронегативних газів. В режимі СПП відсутні сприятливі умови для виникнення негативних іонів, тому впливу електронегативних домішок на ВАХ СПП не спостерігається. Такі умови є наявними в розряді «голка – площа» за режимів НП, НСПП (PS), НСПП (PS/SS), в яких відбуваються суттєві зміни електричних та електродинамічних характеристик режимів розряду.

У третьому розділі наведено результати досліджень синтезу в зазначених у Розділі 2 режимах розряду. Показано, що синтез озону в розряді атмосферного тиску з конфігурацією електродів голка-площина корелює з наявністю умов для утворення негативних іонів в процесах прилипання електронів до електронегативних газів. Більш ефективний синтез озону відбувається в режимах НП, НСПП (PS) та НСПП (PS/SS). Стаціонарний режим розряду за позитивної полярності (СПП) не є ефективним для синтезу озону.

У четвертому розділі наведено результати експериментального дослідження ефективності синтезу озону за імпульсного живлення розряду атмосферного тиску з конфігурацією електродів «багато голок-площина» з позитивним потенціалом на голчатому електроді. Наведено дослідження для порівняння трьох режимів: режим постійної напруги, імпульсний режим живлення з коротким імпульсом напруги - 300 нс (відповідає довжині імпульсу струму у повітрі за постійного живлення), імпульсний режим живлення з довгим імпульсом напруги - 20 мс (тривалість часу, що є більшою за час слідування

імпульсів струму у повітрі за постійного живлення, тобто часу за який відбуваються процеси формування та проходження первинного, вторинного стримерів та дрейф іонів для відновлення умов та формування наступного циклу проходження стримерів). Показано, що застосування короткого імпульсу усуває витрати енергії на процеси дрейфу іонів між проходженням стримерів, що призводить до значного зменшення постійної складової розрядного струму та підвищення ефективності синтезу озону в 3-4 рази у порівнянні з розрядом при постійному живленні.

У **п'ятому розділі** наведено приклади застосування безбар'єрних генераторів озону, створених на основі залучення результатів досліджень різних режимів розряду в конфігурації голка-площина за позитивної та негативної полярності при постійному та імпульсному живленні. Показано помітний вплив обробки озонно-повітряною сумішшю на зниження мікробіологічного зараження сільськогосподарських культур, запропоновано новий спосіб обробки зернових культур під час їх довгострокового зберігання та створено новий спосіб передсадивної обробки часнику, на який отримано патент на корисну модель.

У **висновках** сформульовані основні результати дисертаційної роботи, які повністю відповідають результатам досліджень, наведених у Розділах 1 – 5.

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

Обґрунтованість та достовірність результатів, наукових положень та висновків дисертаційної роботи забезпечено використанням добре відомих наукових методів досліджень та достатньо високим рівнем апробації наукових праць.

Дисертаційна робота **відповідає паспорту наукової спеціальності 01.04.08 – фізика плазми.**

### **Апробація роботи та повнота викладення результатів роботи**

За результатами дисертаційної роботи Пугача С.Г. опубліковано 20 наукових праць, з яких 7 робіт в спеціалізованих виданнях, що індексуються в міжнародних наукометричних базах Scopus і Web of Science. 13 робіт

опубліковано в матеріалах і тезах доповідей на міжнародних наукових конференціях, що підтверджує високий науковий рівень виконаної роботи. Наукові положення та висновки дисертаційної роботи викладені з достатньою повнотою в опублікованих працях.

### **Зауваження**

1. В роботі доцільно було б навести результати спектрометричних досліджень, наведених в статті 2а із списку публікацій здобувача за темою дисертації, які додатково демонструють відмінність між режимами розряду голка – площа при позитивній та негативній полярності на голчатому електроді.
2. В дисертаційній роботі не пояснюється, чому не розглядаються різні режими струму розряду за негативної полярності потенціалу на голчатому електроді.
3. Розділ 4 варто було б, на мою думку, поєднати з розділом 3, оскільки в обох розділах наводяться результати досліджень синтез озону в безбар'єрному розряді голка – площа.
4. Недоліки у оформленні презентації:
  - Рис. 4.2. (а,б), 4.3 (а,б) розділу 4 частково мають позначення російською мовою;
  - В розділах 1 – 3 на ВАХ зустрічається різне позначення для струму в мікроамперах ( $\mu\text{A}$ ,  $\text{mkA}$ ,  $\text{mA}$ ), доцільно використовувати однакове позначення на всіх ВАХ, українською мовою –  $\text{mA}$ ;
  - У фізичній термінології доцільніше було б вживання виразів «дво- і три-частинкове прилипання» (с.40 і інші).
  - Один із електродів в системі «голка – площа» в тексті дисертації автор називає в різний спосіб – «гострий», «голчастий» або «голчатий». Варто дотримуватись в межах роботи сталої термінології.

### **Висновок**

Зроблені зауваження не впливають на загальну високу оцінку роботи дисертаційної роботи «Вплив електронегативних домішок на електродинамічні характеристики та синтез озону в безбар'єрному розряді з конфігурацією

електродів голка-площина». Дисертація Пугача С.Г. є виконаною самостійно, завершеною науковою працею. Представлені результати є достовірними та отриманими за допомогою апробованих методів. Висновки роботи є достатньо обґрунтованими, містять новизну та мають не лише фундаментальні результати, а також і значну практичну складову щодо застосування низькотемпературної нерівноважної плазми.

Автореферат відповідає тексту дисертації, достатньо повно відображає її зміст, основні результати та висновки.

Дисертаційна робота Пугача С.Г. відповідає усім вимогам, що висувається до кандидатських дисертацій відповідно до «Порядку присудження наукових ступенів» (постанова Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, зі змінами), а її автор, Пугач Сергій Григорович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.08 – фізика плазми.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри фізичної електроніки

Київського національного університету

імені Тараса Шевченка МОН України,

доктор фізико-математичних наук, професор



Анатолій ВЕКЛИЧ

Підпис засвідчує  
Вчений секретар  
КАРАУЛЬНА  
12.02

