

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Ладигіної Марини Сергіївни**«Спектральні характеристики компресійної плазми в системах типу
магнітоплазмовий компресор та плазмовий фокус»,**поданої на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.08 – фізика плазми.

Вивчення особливостей генерації плазмових потоків, їх динаміки та компресії, забезпечення необхідної «чистоти» плазми є важливим завданням для літографії та створення потужних джерел випромінювання та частинок. Різноманітні імпульсні та стаціонарні газорозрядні системи генерації та прискорення плазми широко застосовуються в технології для обробки та зміцнення матеріалів, в галузі космічних досліджень в якості електрореактивних двигунів, при вирішенні проблеми керованого термоядерного синтезу (КТС). Результати таких досліджень поглиблюють розуміння основних механізмів, що відбуваються під час взаємодії плазми з мішенями та динаміки їх матеріалу. Значний інтерес становить розвиток безконтактних діагностичних методик для дослідження процесів динаміки плазми та її взаємодії з поверхнею матеріалів.

Дисертацію присвячено комплексним експериментальним дослідженням динаміки компресійних плазмових потоків і особливостям формування зони стиснення в магнітоплазмовому компресорі і плазмових фокусах, а також фізичних процесів в приповерхневій плазмі при взаємодії високоенергетичних плазмових потоків з матеріалами. З огляду на вищезазначене дослідження, що проводились у рамках дисертаційної роботи Ладигіної М. С. є актуальними та мають велике практичне значення.

В роботі вирішена наукова задача, яка має важливе прикладне значення для діагностики плазми. Експериментальними методами досліджено особливості та процеси взаємодії плазмових потоків з поверхнею матеріалів у широкому діапазоні корпускулярно-енергетичного навантаження плазми. За допомогою комплексу оптичної діагностики вперше вирішено низку плазмодинамічних задач з генерації та формування компресійних плазмових потоків і взаємодії плазми з поверхнею в широкому діапазоні її параметрів - тривалості імпульсу, енерговмісту плазмового потоку та електронної густини плазми.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що в результаті проведених комплексних досліджень вперше визначені особливості генерації, динаміки та компресії щільних потоків замагніченої плазми магнітоплазмового компресора при роботі на «легких» та «важких» газах.

Вперше експериментально встановлено, що положення області компресії визначається початковою концентрацією робочого газу в каналі. При зменшенні чи

збільшенні початкової концентрації газу область компресії зміщувалась в напрямку від електродів чи до них відповідно.

Вперше досліджено залежність динаміки стиснення і параметрів плазми в області компресії від початкових умов розвитку розряду. Вивчено вплив особливостей напуску газу на розвиток розряду і формування області компресії МПК при стисненні плазмового потоку.

Вперше показано, що при взаємодії плазмових потоків з поверхнею матеріалів утворення щільних приповерхневих шарів холодної плазми значно подібне формуванню області компресії в МПК, а величини електронних концентрацій в плазмових шарах, що формуються при взаємодії потоків плазми з поверхнею та в області компресії МПК близькі за значенням.

Експериментальні результати, які наведені в дисертаційній роботі, отримані за допомогою добре відомих сучасних взаємодоповнюючих методів діагностики плазми. Експериментальна перевірка доцільності їх використання в умовах проведених експериментів, адекватний вибір вимірювальної техніки з необхідною точністю вимірювання забезпечували достовірність отриманих результатів. Порівняння даних, які наведені в дисертаційній роботі, з результатами, отриманими в аналогічних експериментах іншими колективами та методами числового моделювання, а також апробація результатів на чисельних міжнародних конференціях зумовлюють обґрунтованість зроблених висновків.

Виконана дисертаційна робота тісно пов'язана з державними програмами досліджень з атомної науки та техніки, а також темами міжнародного співробітництва, які виконуються в ІФП ННЦ ХФТІ. Результати виконаних досліджень дають можливість зменшувати ерозію електродів і забезпечувати необхідний склад домішок у плазмі для різних технологічних застосувань пінч-розрядів. Експериментальні дані стосовно динаміки компресійних замагнічених потоків плазми можуть бути використані при розробці нових плазмодинамічних систем. Робота має безперечне практичне значення для вирішення проблеми КТС щодо аналізу фізичних процесів і інтерпретації основних ефектів, що відбуваються при взаємодії високоенергетичної плазми з матеріалами, поведінки домішок матеріалу мішеней (W, CFC) під час розряду, параметрів приповерхневої плазми в подальших дослідженнях впливу плазми на матеріали великих термоядерних установок.

В авторефераті наведено 19 основних публікацій Ладигіної М. С. за темою дисертації, у їх числі 13 у наукових фахових виданнях та 6 у тезах міжнародних конференцій. Зазначена кількість публікацій є достатньою та задовольняє вимогам МОН України щодо публікацій здобувачів наукового ступеня кандидата наук. В них повною мірою представлено наукові та практичні результати, які виносяться на захист.

Представлені в роботі наукові та практичні результати пройшли апробацію на 28 міжнародних конференціях з фізики плазми, діагностики та взаємодії плазми з поверхнями матеріалів.

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та одного додатку.

У вступі викладено значимість і стан наукової задачі, яка розв'язувалась при виконанні дисертаційної роботи, обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено зв'язок роботи з науковими програмами і темами, розкрито наукову новизну і практичне значення одержаних результатів.

У розділі 1 представлено огляд і аналіз літератури за темою досліджень. Розглянуто розвиток плазмових систем, які здатні генерувати потужні замагнічені компресійні потоки плазми з високими значеннями електронної густини плазми ($\geq 10^{18} \text{ см}^{-3}$). Описано механізми, що впливають на міру стиснення плазмового потоку. Проаналізовано стан наукової проблеми та визначені основні напрямки досліджень, що представляють інтерес для сучасної фізики плазми. Представлено сучасний стан розвитку оптичних методів діагностики плазми.

У 2-му розділі наведено докладний опис експериментальних стендів та методів діагностики плазмових потоків, які застосовувалися в експериментальних дослідженнях та методів оптичної діагностики, які використовувались в дослідженнях плазмових потоків. Проаналізовано їх придатність та можливі похибки вимірювань. Також описано комплекс спектроскопічного обладнання для досліджень інтегральних та часово-просторових характеристик плазмових потоків.

3-й розділ присвячено спектроскопічним дослідженням динаміки плазми в МПК при його роботі на чистих газах - азоті та ксеноні. Також описано експерименти при використанні суміші газів гелію та ксенону. Визначені відсоткові співвідношення сумішей газів для експериментів. Розраховані основні плазмові параметри, проаналізовано динаміку плазмових потоків та особливості їх компресії. Детально обґрунтовано вибір режимів роботи та проведення оптимізації плазмового розряду під час його розвитку на газах з різною масою. Проаналізовано еволюцію густини плазми в зоні компресії. Описано застосування методики визначення густини з урахуванням ефекту самопоглинання.

У 4-му розділі викладено результати досліджень плазмових розрядів МПК при роботі на буферних газах (He, Ar) та комбінованих розрядах з використанням гелію та ксенону, що обумовило зниження впливу ефекту самопоглинання на спектральні лінії ксенону. Описано особливості динаміки плазмових потоків та формування області компресії при використанні різних робочих газів. Проведено порівняльний аналіз експериментальних результатів, отриманих при роботі з гелієм та аргонном. Виявлені компресійні режими роботи та оцінено їх параметри. Вивчено вплив атомної маси фонового газу на процеси генерації плазмового потоку в МПК і формування області компресії. Показано, що в розрядах з використанням

локального напуску газу в зону компресії та просто додаткової дози газу під час розвитку розряду електронна густина плазми значно зростає.

У 5-му розділі представлені результати експериментальних досліджень взаємодії щільних потоків плазми з поверхнями матеріалів. Показано, що при взаємодії плазми з поверхнею матеріалу утворюються шари щільної плазми, густина яких досягає величин в області компресії МПК, що і обумовлює їх значну подібність. Наведено результати експериментальних досліджень на установках PF MAJA-60, RPI-IBIS, DPF-1000 та PF-360 при взаємодії плазмових потоків з вольфрамом та вуглецевим композитом. Автором проведено визначення основних факторів, що впливають на розпилення матеріалу мішеней, його інтенсивність та динаміку під час розвитку розряду.

Усі розділи є взаємопов'язаними і спрямованими на досягнення поставленої мети та задач дисертації.

Стиль викладення матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій в дисертації та авторефераті відповідає науковим нормам і адекватно передає зміст роботи.

Єдиним недоліком дисертації є те, що оформлення списку літератури в дисертації та авторефераті не відповідає діючому стандарту України.

Наведені зауваження не стосуються основних положень, які виносяться на захист, не знижують високу оцінку дисертаційної роботи Ладигіної М. С. і не впливають на достовірність отриманих результатів.

В дисертації шляхом залучення низки методів оптичної діагностики розв'язано одну з найважливіших науково-технічних задач фізики плазми – вивчено динаміку та особливості компресії щільних плазмових потоків при використанні різних плазмоутворюючих газів. Отже, робота повністю відповідає спеціальності 01.04.08 – фізика плазми.

Зміст автореферату повною мірою відповідає структурі дисертації і розкриває її основні положення і висновки.

Дисертаційна робота Ладигіної М. С. є завершеною науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати досліджень динаміки та особливостей компресії плазмових потоків в різних плазмодинамічних системах, дослідження замагнічених високоенергетичних плазмових потоків та вивчення їх взаємодії з матеріалами. Наявність таких результатів забезпечує розв'язання наукової задачі, пов'язаної з необхідністю створення нових потужних джерел випромінювання та моделювання взаємодії потужних плазмових потоків з елементами диверторної системи термоядерного реактору.

Вважаю, що дисертаційна робота «Спектральні характеристики компресійної плазми в системах типу магнітоплазмовий компресор та плазмовий фокус», яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук, повністю відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р., а її

автор, Ладигіна Марина Сергіївна, безумовно заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.08 – фізика плазми.

Офіційний опонент,
доктор фізико-математичних наук,
доцент Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна,
професор кафедри матеріалів
реакторобудування та фізичних технологій

О. В. Зиков

Учений секретар Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна,
доцент



Н.А.Вінникова