

ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

БІТНАЯ Ірина Олександрівна

СТАБІЛІЗАЦІЯ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ КОЛИВАНЬ НЕОДНОЗВ'ЯЗНОЇ
ПЛАЗМИ ШИРОМ МАГНІТНОГО ПОЛЯ В АКСИАЛЬНО-СИМЕТРИЧНИХ
СИСТЕМАХ

Спеціальність 01.04.08. - фізика та хімія плазми

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Харків-1993

Дисертація в рукописі.

Робота виконана в Харківському державному університеті
Науковий керівник: доктор фізико-математичних наук, доцент
Лапшин Володимир Ілліч

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук
Падалка Валентин Глебович
(Харківський авіаційний інститут)

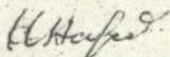
кандидат фізико-математичних наук
Сосіпатов Михайло Васильович
(ІНФІЦ АН України)

Провідна організація: Національний науковий центр, Харківський
Фізико-технічний інститут АН України

Захист дисертації відбудеться "22" вересня 1993 р.
о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради
Д 053.06.01 Харківського державного університету
(ЗІОІОС, Харків-ІОС, пр.Курчатова, 31, ауд.301).
З дисертацією можна ознайомитися в Центральній науковій
бібліотеці ХДУ.

Автореферат розісланий "19" вересня 1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



М.О. Азаренков

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00802592 (Q)

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Важливою проблемою утримування плазми в уловлювачах, які використовуються для розв'язання задач керованого термоядерного синтезу та в технологічних процесах, є пошук способів стабілізації низькочастотних коливань плазми. Низькочастотні коливання в таких пристроях звичайно призводять до великомасштабних змін у поведінці плазми. В запропонованій роботі досліджується довгий дзеркальний уловлювач, зхильний до збудження у плазмі жолобкових коливань з модою $m \approx 1$, а також пристрій типу стаціонарного магнетронного діоду в режимі збудження низькочастотних коливань. Використання такого плазмового інжектора ефективно як в проблемі керованого термоядерного синтезу (для заповнення уловлювачів), так і для створення плазмових потоків, що відповідають вимогам вакуумно-плазмової технології.

Пошук способів пригнічення низькочастотних жолобкових нестійких коливань в дзеркальних уловлювачах, які приводять до катастрофічного висидання плазми уперек магнітного поля, останнім часом спрямовані на дотримання аксіальної симетрії уловлювача, що дає можливість уникнути втрат плазми уперек магнітного поля, аналогічних неокласичним втратам плазми в токамаках. Одні із напрямлень теоретичних розробок присвячено дослідженню стійкості плазми з неоднорівним профілем густини та можливості пригнічення жолобкових коливань широм магнітного поля, яке створюється струмом в аксіальному проводникові. Викликає інтерес також проблема стійкого утримання плазми у дзеркальних уловлювачах без урахування ефекту скінченного ларморовського радіусу, що характерно для стабілізації жолобкових коливань широм магнітного поля, який стабілізує всі моди жолобкових коливань. Якщо плазму зробити завтовшки в декілька ларморівських радіусів, то, таким чином, можна уникнути також і дрейфово-дисипативних коливань, які також викликають втрати плазми. Експериментальне дослідження проблеми пригнічення жолобкових нестійкостей неоднорівної плазми широм магнітного поля із збереженням аксіальної симетрії уловлювача є головною метою запропонованої роботи.

Збереження ідеї використання відкритих уловлювачів як

альтернативних пристроїв для створення термоядерного реактор базуються на їх перевазі щодо конструктивної простоти та можливості утримання в них плазми з великим значенням параметру β . Тому актуальним виявляється запропонований в роботі спосіб одержання плазми зі значенням параметру $\beta \approx 30\%$, який дозволяє ефективно використовувати схему живлення коаксиальних електродів імпульсного сильноточового інжектора, що створює плазму в уловлювачі.

Разв'язання проблеми пригнічення жолобкових нестійкостей змусило використати декілька способів заповнення уловлювача і при створенні плазми з малим значенням параметру β за допомогою стаціонарного або квазістаціонарного слабострумowego розряду у пристрої типу магнетронного діоду було виявлено збудження в деяких режимах роботи низькочастотних коливань в дослідженому діапазоні. Дослідження цих коливань важливе для проблем вакуумно-плазмової технології, коли у плазмостворюючому ступені використовується пристрій типу магнетронного діоду, тому що відомий значний вплив зазначених коливань на такі макроскопічні характеристики, як енергетичний та просторовий розподіл іонів в потоках, що ежектується із джерела. Таким чином актуальним виявляється пошук методів керування низькочастотними коливаннями, який було проведено в запропонованій роботі.

Метою роботи було керування та пригнічення низькочастотних коливань в уловлювачах з неоднорозв'язною плазмою при дотриманні аксиальної симетрії уловлювачів.

В дисертаційній роботі представлено результати вирішення облідуваних задач:

1. Дослідження способу одержання у довгому дзеркальному уловлювачі неоднорозв'язної плазми з великим значенням параметру β .
2. Дослідження впливу ширини магнітного поля на час життя неоднорозв'язної плазми з великим значенням параметру β в довгому аксиально-симетричному дзеркальному уловлювачі.
3. Ідентифікація жолобкових коливань та дослідження можливості пригнічення їх широким магнітним полем в уловлювачі з малим значенням параметру β .
4. Дослідження низькочастотних коливань плазми стаціонарного розряду у магнетронному діоді та утримуваних властивостей розрядних пристроїв.

5. Дослідження енергетичних та просторових характеристик іонних потоків в пристрої типу магнетронного діоду.

6. Дослідження можливості керування низькочастотними коливаннями плазми розряду в магнетронному діоді за допомогою шире зовнішнього магнітного поля.

Наукова новина роботи. Вперше показана можливість пригнічення нестійкості жолобкового типу в довгому дзеркальному уловлювачі зі збереженням аксиальної симетрії широм зовнішнього магнітного поля. Виявлено різницю між експериментально одержаними та теоретично розрахованими значеннями критичних величин параметру β плазми, яка утримується в цьому уловлювачі. Підтверджено також теоретичний висновок про неможливість стабілізації жолобкових нестійкостей неізоіз'язної плазми, яка має порожнину на осі уловлювача.

В роботі вперше експериментально перевірено ефективний спосіб одержання плазми з великим значенням параметру β . Виявлено збільшення густини теплової енергії плазми, що створюється запропонованим способом, без додаткового енерговкладу.

Вперше проведене докладне експериментальне дослідження збудження низькочастотних коливань в плазмі газового розряду в пристрої із перехрещеними $E-H$ полями. Проведене дослідження дозволило зробити висновки про механізм збудження цих коливань і віднести їх до класу релаксаційних, що обумовлені проявленнями утримуванних властивостей розряду, які характерні для деяких режимів зі збільшенням іоностворенням.

Вперше одержано результати по впливу досліджених низькочастотних коливань на енергетичні характеристики потоків заряджених часток в коаксіальних інжекторах типу прискорювачів з замкненим холловським струмом.

В коаксіальному інжекторі магнетронного типу вперше було показано можливість керування та пригнічення низькочастотних релаксаційних коливань, що дає можливість впливати на макроскопічні характеристики потоків заряджених часток за допомогою шире зовнішнього магнітного поля.

Автор вносить на захист наступні положення:

- результати дослідження впливу шире магнітного поля на стійкість плазми в дзеркальному уловлювачі з великим значенням параметру β ;
- результати дослідження пригнічення жолобкової нестійкості в

неоднорозв'язні плазми, що утримуються в довгому дзеркальному уловлювачі, широм магнітного поля при збереженні аксиальної симетрії уловлювача;

- результати дослідження низькочастотних релаксаційних коливань в іонному джерелі магнетронного типу;

- висновки про механізм збудження релаксаційних коливань в плазмі розряду між коаксіальними електродами в перехрещених ЕН полях;

- результати досліджень макроскопічних характеристик потоків заряджених часток в режимах збудження низькочастотних коливань в коаксіальному інжекторі типу магнетронного діоду та вивчення утримувальних властивостей разрядного проміжку;

- результати дослідження впливу ширини магнітного поля на розвиток низькочастотних коливань плазми розряду та на макроскопічні характеристики потоків заряджених часток в магнетронному діоді.

Наукова та практична цінність. Практична цінність полягає в тому, що одержане в роботі експериментальне підтвердження можливості пригнічення жолобкових нестійкостей в довгому дзеркальному уловлювачі широм магнітного поля дозволять використати запропонований теоретично уловлювач з неоднорозв'язною плазмою та аксиальним струмом в провідникові, що створює азимутальну складову магнітного поля, як пристрій для ефективного утримання густої плазми в технологічних та дослідницьких установках.

Експериментально виявлена різниця між теоретичними розрахунками та експериментально одержаними значеннями параметру β , критичного для пригнічення жолобкових нестійкостей в неоднорозв'язній плазмі широм, дає можливість враховувати ці дані при конструюванні запропонованих пристроїв.

Результати досліджень симетричного способу підключення схеми живлення пристроїв типу коаксіальних плазмових інжекторів можуть бути використані при розробці лабораторних магнітних дзеркальних уловлювачів для утримання плазми зі значенням параметру $\beta \leq 40\%$.

Дослідження низькочастотних коливань плазми розряду в коаксіальному інжекторі на базі пристрою типу магнетронного діода дали практичні результати по енергетичному розподілу іонів в потоках та просторовому розподілу густини потоку іонів в таких пристроях.

Виявлені режими з підвищеним іоностворенням, які обумовлені

проявленям утримуваних властивостей газового розряду та супроводжуються збільшенням густини плазми та густини іонних потоків, які ежектується із пристрою. Досліджувані режими можна ефективно використати в плазмостворюючій ступені іонних інжекторів з метою оптимізації їх параметрів. Однак, слід приймати до уваги вплив релаксаційних низькочастотних коливань плазми розряду на макроскопічні параметри іонних потоків, який проявляється в модуляції густини потоків. Крім того, в режимах збудження досліджуваних низькочастотних коливань були виявлені два потоки іонів, які мали величини енергії, що значно відрізнялись одна від одної. Енергія додаткового низькоенергетичного потоку іонів була в діапазоні потрібних для технологічних процесів значень 150-250 В.

Використання ширю магнітного поля в магнетронному діоді дало можливість керувати та пригнічувати в деяких режимах низькочастотні релаксаційні коливання та, таким чином, впливати на макроскопічні параметри іонних потоків. В деяких режимах роботи магнетронного діоду з ширю магнітного поля було виявлено діапазони повздовжнього магнітного поля, в яких реалізується важлива для роботи іонних джерел, що використовуються в технологічних процесах, умова рівномірності розподілу густини іонного потоку по радіусу пристрою.

Апробація результатів та публікації.

Основні результати досліджень, узагальнені в дисертації, опубліковані в роботах та доповідях на III Всесоюзній школі-конференції "Современные методы магнитного удержания, нагрева и диагностики плазмы" (Харків, 1982), II Міжгалузевому научно-технічному семінарі "Физические основы и новые направления плазменной технологии в микроэлектронике" (Москва, 1991), VI Всесоюзній конференції "Взаимодействие электромагнитных излучений с плазмой" (Душанбе, 1991), Міжнародній конференції з фізики і технології тонких плівок (Івано-Франковськ, 1993), II Міжнародній конференції "Газодинамика в народном хозяйстве" (Севастополь, 1993).

Об'єм та структура дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох глав з 41 малюнком, заключення та списку літератури з 102 найменувань. Загальний об'єм роботи 130 сторінок машинописного тексту.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дано короткий огляд результатів теоретичних та експериментальних досліджень в області вивчення жолобкових коливань в плазмі дзеркальних уловлювачів. Розглянуті відомі способи стабілізації жолобкових нестійкостей та обґрунтовано актуальність експериментального дослідження пригнічення цих нестійкостей у неоднорозв'язній плазмі широм магнітного поля при дотриманні аксиальної симетрії уловлювача.

Приведений у вступі короткий огляд досліджень низько-частотних коливань в пристроях з перекрещеними електричним та магнітним полями був обумовлений наявністю таких коливань в пристрої типу магнетронного діоду, який використовувався в запропонованій роботі для заповнення дзеркального уловлювача плазмою з малим параметром β . Очевидно, що широке використання цих пристроїв також і в плазмовій технології, як іонних джерел, потребує вивчення таких коливань та ефективних способів керування ними, оскільки вони впливають на макроскопічні параметри іонних потоків.

У першій главі дисертації представлено опис експериментальних пристроїв та діагностичних методик для дослідження збудження та пригнічення широм магнітного поля низькочастотних коливань у неоднорозв'язній плазмі зі збереженням аксиальної симетрії системи.

Розділ I.1 містить опис пристроїв, які дозволили при використанні різних способів заповнення одержати в довгому дзеркальному уловлювачі неоднорозв'язну плазму з різними значеннями параметру β . Вибір зовнішніх параметрів пристрою дав можливість реалізувати умови збудження жолобкових нестійкостей в плазмі дзеркального уловлювача.

З метою одержання та вивчення стійкості неоднорозв'язної плазми з великим значенням параметру β використовувався принцип сильнотривової імпульсної інжекції із коаксимального джерела. Однак, при заповненні уловлювача у такий спосіб виникли ускладнення в ідентифікації коливань та інтерпретації впливу широм магнітного поля на стійкість плазми. Тому були використані стаціонарний та імпульсний слабостривові коаксимальні інжектори та імпульсний титановий інжектор, які створили в уловлювачі неоднорозв'язну плазму зі значенням параметру $\beta \approx 1\%$.

В деяких режимах роботи слабостривових стаціонарних та

Імпульсних коаксіальних інжекторів типу магнетронного діоду було виявлено низькочастотні коливання в досліджуванному діапазоні частот. В умовах експериментів з метою розв'язання задачі ідентифікації низькочастотних коливань виникла необхідність проведення досліджень розвитку цих коливань та впливу на них ширя магнітного поля. Для зручності досліджень експерименти проводились в пристрої типу магнетронного діоду, який був змонтований в камері установки на однорідній ділянці зовнішнього позадвохнього магнітного поля.

Для досліджень впливу ширя магнітного поля на розвиток низькочастотних коливань у всіх пристроях була можливість створювати азимутальну складову магнітного поля, яка спадає від осі системи, струмом в аксіальному провідникові.

В розділі 1.2. описані стандартні методи діагностики при використанні лентмюровських зондів. У випадку вивчення плазми з великим значенням параметру β використовувався пристінний лентмюровський та діамантний зонди, які вимірювали лише загальні характеристики плазми - час життя та густину теплової енергії.

Дослідження жолобкових коливань в дзеркальному уловлювачі при малих значеннях параметру β та низькочастотних коливань плазми розряду в магнетронному діоді проводились за допомогою мініатюрних лентмюровських зондів, які забезпечують необхідну локальність при визначенні параметрів плазми та характеристик хвильових процесів.

Спрямовані багатосіткові аналізатори використовувались при дослідженні енергетичних характеристик потоків заряджених часток в магнетронному діоді.

В другій главі описаний ефективний спосіб створення в дзеркальному уловлювачі плазми з параметром $\beta \approx 40\%$, та наведені результати дослідження впливу ширя магнітного поля на стійкість такої плазми в уловлювачі.

В розділі 2.1 наведено результати дослідження способу заповнення довгого дзеркального уловлювача плазмою з великим значенням параметру β , який базується на використанні в уловлювачі принципу створення плазми іонізацією робочого газу в уловлювачі в наслідок прямування через нього струмового диску, що створюється в пристрої типу коаксіального імпульсного

сильнострумового інжектора.

Конструкція установки була розроблена з метою дослідження неоднороз'язної плазми та впливу ширя магнітного поля на її стійкість при збереженні аксиальної симетрії уловлявача. Неоднороз'язність об'єму, який заповнюється плазмою, була оформована за допомогою мідного стержня, що був розміщений на осі камери установки. Азимутальна складова магнітного поля створювалася постійним струмом в стержні. Величина її спадала за радіуса системи. Максимум утримуючого магнітного поля, таким чином, знаходився в області, що не зайнята плазмою, при цьому не порушувалася аксиальна симетрія уловлявача.

Використовуючи особливості конструкції установки та симетричний спосіб приєднання електричної схеми живлення, яка формувала імпульс високої напруги, до розрядного пристрою, електродами якого були камера та аксиальний стержень, в уловлявачі вдалося створити два працюючих один назустріч одному імпульсних сильнострумових інжектори.

Експерименти показали, що в запропонованому уловлявачі утворюється плазма з густиною теплової енергії на порядок вищою, ніж при приєднанні електричної схеми живлення з одного боку пристрою, без додаткового енерговкладу. Характер залежності густини теплової енергії від величини магнітного поля свідчить про те, що неоднороз'язність профілю густини плазми не забезпечує стійкості плазми.

В розділі 2.2 дано результати дослідження впливу ширя магнітного поля на стійкість неоднороз'язної плазми у довгому дзеркальному уловлявачі. Експериментально показано, що досліджуваний дзеркальний уловлявач не забезпечує утримання максимально можливого рівня густини теплової енергії, який одержано способом, що запропоновано в розділі 2.1 ($\beta \approx 40\%$) в уловлявачі захоплено лише плазму з параметром $\beta \approx 3\%$. Значення густини теплової енергії, яка захоплюється в уловлявачі: $nT \approx 10^{14} \text{ eV/cm}^3$.

В умовах утворення в уловлявачі плазми з великим значенням параметру β не виявляється можливої чітка ідентифікація коливань, що спостерігаються. Однак, аналіз характеру поведінки плазми та деяких теоретичних уявлень про стійкість плазми в дзеркальних уловлявачах дозволяє припустити наявність в досліджуваному

уловлювачі жолобкових нестійких коливань, принаймні при малих значеннях зовнішніх повздовжніх магнітних полей ($H_2 < 800\text{e}$) та параметру $\beta \approx 3\%$.

Критерій стабілізації жолобкових нестійкостей за допомогою шпирі магнітного поля в досліджуваних умовах має вигляд:

$$H_\phi/H_2 \geq 0,2 \beta^{1/2}, \quad (I)$$

Критерій (I) не виконується в наших експериментах в важливій пристінній ділянці плазми. Однак, вивчення розпаду плазми показало, що час життя плазми в уловлювачі при наявності шпирі магнітного поля збільшується, а викидання плазми на стінку камери в цих умовах практично не спостерігається.

Експериментально показано, що режим з тривалим утриманням плазми настає при досягненні значення струму в аксиальному провідникові $I > 100\text{a}$.

У главі III дані результати досліджень по ідентифікації жолобкових коливань в довгому дзеркальному уловлювачі з малим значенням параметру β , та експериментів, що підтверджують факт пригнічення жолобкових нестійкостей широм магнітного поля в неоднорозв'язній плазмі зі збереженням аксиальної симетрії уловлювача.

В розділі 3.1 описаний дзеркальний уловлювач, параметри якого дають можливість спостерігати в ньому жолобкові нестійкі коливання. Параметри плазми зі значенням $\beta \approx 1\%$, створеної за допомогою заповнення довгого дзеркального уловлювача водневою плазмою із імпульсного титанового інжектора, дозволяють уникнути деяких теоретично можливих умов стабілізації жолобкових нестійкостей. Низькочастотні коливання, які спостерігалися в плазмі уловлювача під час розпаду плазми, було ідентифіковано як обертання плазмових жолобків з модою $m \approx 1$.

В розділі 3.2 дано результати дослідження, яке експериментально підтверджує можливість пригнічення жолобкових нестійких коливань з модою $m \approx 1$ в неоднорозв'язній плазмі уловлювача широм магнітного поля, що утворюється струмом в аксиальному провідникові. В умовах експерименту вивчався розпад плазми з параметрами: $n \approx 5 \cdot 10^9 \text{cm}^{-3}$; $T_e \approx 10 \text{eV}$; $T_i \approx 2-3 \text{eV}$. Експериментально спостерігалось зникнення коливань у плазмі, що

розпадається, та збільшення часу життя плазми, коли в уловлювачі створено азимутальну складову магнітного поля.

Аналіз одержаних експериментальних залежностей показав, що експериментальні дані якісно узгоджуються з теоретичними уявленнями та розрахунками, але із вимірювань ясно, що ефект пригнічення жолобкових коливань спостерігається при порогових значеннях струму в аксиальному стержні вищих у декілька разів від розрахованих із критерія (I).

Глава IV присвячена вивченню низькочастотних коливань в плазмі розряду коаксиального плазмового інжектору типу магнетронного діода.

В розділі 4.1 приведені характеристики режиму розряду, що досліджувався. Як показали експерименти, коливання розвивалися в режимі роботи магнетронного діода, який відповідає аномальному тлічому розряду, тобто на зростаючій ділянці вольт-амперної характеристики. Цей режим характеризувався значним підвищенням розрядного току та наявністю полегшених умов запалення розряду. Виявлено було також збільшення густини іонного струму уздовж коаксиального інжектора майже на порядок.

В розділі 4.2 дано результати досліджень параметрів плазми, яка утворюється в розряді у режимі, що вивчається. Під час досягнення критичних параметрів розряду, було виявлено також збільшення густини плазми, та зміну характеру розподілу потенціалу вздовж радіуса магнетронного діода. У досліджуваному режимі перепад потенціалу в центральній частині розрядного проміжку не перевищував 10%, в той час, коли поза критичним режимом на цій ділянці розрядного проміжку мала місце потенціальна яма для іонів. Ці дані дозволяють зробити припущення про затримання іонів в потенціальній ямі. Підвищене іоностворення пов'язано, можливо, також з наявністю зовнішнього поведовжнього магнітного поля в коаксиальній системі електродів, що замагнічує електрони розряду.

Розділ 4.3 присвячено вивченню характеру низькочастотних коливань в плазмі розряду, які збуджуються в критичних режимах розряду. Коливання ідентифіковано як релаксаційні, що обумовлені накопиченням іонів в центральній частині розрядного проміжку та їх зкиданням як в радіальному, так і в аксиальному напрямку. В режимі коливань має місце низькочастотна модуляція густини плазми

та потенціалу в розряді. Виявлена в режимах збудження низькочастотних коливань наявність додаткових потоків іонів з енергією, близькою до потенціалу в центральній ділянці розрядного проміжку.

У розділі 4.4 наведено результати дослідження впливу ширя магнітного поля на збудження та розвиток коливань, що досліджуються, а також на характеристики досліджуваного режиму розряду. Виявлена можливість пригнічення релаксаційних низькочастотних коливань плазми розряду широм в деяких режимах, а також керування амплітудою коливань та енергією іонів в розряді. Виявлено діапазон повздовжнього магнітного поля порядку 100 Е при наявності ширя в системі, коли нерівномірність розподілу густини току іонів по радіусу системи не перевищує 5%.

У заклученні сформульовані результати, одержані в дисертаційній роботі:

1. Проведено експериментальне дослідження методу створення плазми з неоднороз'язним профілем густини та параметром $\beta \approx 30\%$ в довгому дзеркальному уловлювачі за допомогою формування в пристрої двох струмових дисків, які утворюють плазму за рахунок іонізації робочого газу. Симетричний спосіб підключення блоку живлення створював в уловлювачі аналог двох працюючих один назустріч одному коаксимальних інжекторів і давав можливість одержати плазму з величиною густини теплової енергії на порядок вищою, ніж при асиметричній схемі підведення енергії до електродів інжектору.

2. Виявлено, що досліджуваний уловлювач з дзеркальним відношенням $\kappa = 3$ не утримує плазму з максимально можливим рівнем густини теплової енергії, яка створюється запропонованим в роботі способом.

3. При вивченні стійкості плазми в довгому дзеркальному уловлювачі, який захоплював плазму з параметром $\beta \approx 3\%$, було зареєстровано підвищення часу життя плазми, яка розпадається в уловлювачі, та зростання утримуваної густини теплової енергії при наявності ширя магнітного поля. Азимутальна складова магнітного поля створювалась в уловлювачі струмом в аксимальному стержні, в наслідок чого зберігалася важлива умова аксимальної симетрії уловлювача.

4. Проведено аналіз можливості збудження в плазмі досліджуваного довгого дзеркального уловлювача з параметром $\beta < 1\%$

магнітогідродинамічних нестійкостей жолобкового типу. У комплексі з експериментальним вивченням характеру зареєстрованих коливань було зроблено висновки про наявність в плазмі уловлювача жолобкових нестійких коливань з модою $m \approx 1$.

5. Експериментально була показана можливість пригнічення жолобкових нестійких коливань в неоднороз'язній плазмі широм магнітного поля при збереженні аксиальної симетрії уловлювача. Виявилось, що порогове значення азимутальної складової магнітного поля, що створює шир, перевищує до двох разів розраховане за теоретичними уявленнями.

6. В деяких режимах роботи імпульсного та стаціонарного коаксиального інжектору типу магнетронного діоду, який було використано в циклі робіт для заповнення уловлювача плазмою з величиною параметру $\beta \ll 1\%$, було виявлено збудження низькочастотних коливань в досліджуваному діапазоні частот $\omega \approx \omega_{H1}$. Проблема ідентифікації коливань в цьому діапазоні потягла за собою комплекс досліджень, які виявили їх релаксаційну природу. Результати експериментальних вимірювань дозволяють зробити висновки про те, що коливання пов'язані з накопиченням та зкиданням іонів із центральної ділянки розрядного проміжка в режимах, коли проявляються утримувані властивості розряду в перехрещених Е·Н полях.

7. В режимах розвинених коливань виявлено низькочастотну модуляцію густини потоків іонів, а також додаткові потоки іонів з енергією, яка значно відрізняється від енергії іонів, характерної для таких пристроїв, що дорівнює потенціалу анода. Енергія додаткових потоків виявилася у важливому для плазмово-технологічних процесів діапазоні 150 - 250 еВ. Наявність таких макроскопічних змін параметрів іонних потоків треба враховувати при конструюванні іонних джерел.

8. Експериментально була показана можливість пригнічення низькочастотних коливань у деяких діапазонах роботи магнетронного діоду та, таким чином, уникнути модуляції та одержати моноенергетичний потік іонів. Крім того, за допомогою шира магнітного поля вдавалось керувати амплітудою коливань, та енергією іонних потоків, що прямують в аксиальному напрямку.

9. В режимах з широм магнітного поля було виявлено діапазон повздовжніх магнітних полей порядку 100 Е, в межах якого

неоднорідність розподілу густини потоку іонів вздовж радіусу системи не перевищувала 5%. Наявність такого діапазону, який переміщується по інтервалу досліджених повздовжніх магнітних полів в залежності від значення тиску робочого газу, має забезпечити легке настроювання на режим з рівномірним розподілом густини іонного струму. Однак треба мати на увазі, що цей діапазон існує в режимах збудження коливань, отже характеризується модуляцією густини та немоноенергетичністю потоку іонів.

Основні матеріали дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Битная И.А., Манзюк Н.А. Получение плазмы с большим β в полой аксиально-симметричной ловушке. // В сб. Материалы III Всесоюзной школы-конференции "Современные методы магнитного удержания, нагрева и диагностики плазмы". Т.1. - Харьков, 1982. - с. 81-84.

2. Битная И.А., Манзюк Н.А. Удержание плотной плазмы в полой аксиально-симметричной ловушке. // Там же. - с. 85-88.

3. Битная И.А., Манзюк Н.А.. Исследование стабилизации МГД-неустойчивости в системе с неодносвязной плазмой. // УФЖ, 1988. - Т.33, №10. - с. 1484-1488..

4. Битная И.А., Бориско В.Н. Подавление дрейфовых низкочастотных колебаний в плазме источника ионов магнетронного типа. // В сб. Материалы II Межотраслевого научно-технического семинара "Физические основы и новые направления плазменной технологии в микроэлектронике." - Москва, 1991. - Т.1. - с. 12-13.

5. Битная И.А., Бориско В.Н. Управление характеристиками ионного пучка, эжектируемого из источника магнетронного типа. // Там же. - с. 14-15.

6. Бориско В.Н., Битная И.А. Влияние азимутального магнитного поля на развитие дрейфовых колебаний в плазме магнетронного диода. // В сб. Тезисы докладов IV Всесоюзной конференции по взаимодействию электромагнитных излучений с плазмой. - Душанбе, 1991. - с.131.

7. Битная И.А., Бориско В.Н., Лапшин В.И. Источник ионов магнетронного типа с однородным профилем плотности. // В сб.

Ав 28.699

Матеріали Міжнародної конференції з фізики і технології тонких плівок. - Івано-Франковськ, 1993. - с.280.

8. Битная И.А., Бориско В.Н.. Влияние азимутальной составляющей магнитного поля на движение газодинамического потока в системе коаксиальных электродов. // В сб. Тезисы докладов II Международной конференции "Газодинамика в народном хозяйстве". - Севастополь, 1993. - с.62.

9. Битная И.А., Бориско В.Н., Лапшин В.И. Исследование низкочастотных релаксационных колебаний плазмы разряда в магнетронном диоде: /Препринт НФТЦ 93-4. - Харьков: НФТЦ АН Украины 1993, 7с.

10. Битная И.А., Бориско В.Н., Лапшин В.И. Влияние шира магнитного поля на релаксационные колебания плазмы разряда в магнетронном диоде: / Препринт НФТЦ 93-5. - Харьков: НФТЦ АН Украины.1993, 5с.

Ав 28.699

Підп. до друку 16.11.93. Формат 60×84¹/₁₆. Папір. друк. Друк офсетний.
Умови. друк. арк. 1,0. Умови. фарбо-відб. 1,6. Облік-вид. арк. 1,0
Тираж 100 прим. Заяв. № 34419. Безплатно.

Харківське орендне поліграфічне підприємство.
310093, Харків, вул. Свердлова, 115.