**Мельник Ігор Віталійович. Теоретичні та експериментальні основи проектування технологічних газорозрядних джерел електронів : Дис... д-ра наук: 05.27.02 – 2008**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | **Мельник І.В. Теоретичні та експериментальні основи проектування технологічних газорозрядних джерел електронів.** – Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.27.02 – Вакуумна плазмова, та квантова електроніка. – Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, Київ, 2008.  Дисертація присвячена розробленню та дослідженню джерел електронів високовольтного тліючого розряду, методики їх проектування, та їх застосуванню для проведення технологічніх операцій зварювання, нанесення покриттів та електронно-променевого плавлення металів.  У роботі проведений огляд сучасних електронно-променевих технологій, у результаті якого обгрунтовано, що, разом з удосконаленням традиційніх термокатодних електронних гармат при роботі у складних фізичних умовах низького та середнього вакууму у хімічно активному або захистному газовому середовищі, перспективним є використання джерел електронів на основі високовольтного тліючого розряду (ДЕЛ ВТР). Проведена узагальнена класифікація моделей електронно-оптичних систем та засобів їх проектування.  Запропоновано методику розрахунку електронно-оптичних систем ДЕЛ ВТР, яка основана на методі трубок струму. При розрахуванні просторового заряду враховувалися перезарядження іонів на атомах залишкового газу. Запропоновано методику визначення положення та форми плазмової межі, в основу якої покладено спільне використання теоретичних закономірностей та апроксимації і комп’ютерної обробки експериментальних даних.  Проведені оцінки потужності, що виділяється на електродах, та для різних електродних систем визначені оптимальні режими роботи катоду з точки зору підвищення ефективності іонно-електронної емісії, стабільності роботи та підвищення терміну служби.  Розглянуто особливості транспортування короткофокусних електронних пучків, які формуються у ДЕЛ ВТР, з області горіння розряду до технологічної камери у еквіпотенціальному каналі.  Розглянуто особливості формування електронних пучків у ДЕЛ ВТР при газодинамічному та електричниму керуванні параметрами розряду. При моделюванні роботи ДЕЛ ВТР у складі технологічного обладнання використовувались отримані в роботі апроксимації їх експериментальних вольт-амперних характеристик. Дослідження триодних систем ДЕЛ ВТР з електричним керуванням струмом розряду проводилося з урахуванням експериментальних даних про форму та положення плазмової межі.  Запропоновано комплексну теоретико-експериментальна методику інженерного проектування ДЕЛ ВТР. На основі проведених досліджень та запропонованої методології проектування розроблені конструкції ДЕЛ ВТР потужністю від 10 до 600 кВт. Технологічні можливості розроблених джерел електронів підтверджені їх успішною експлуатацією в умовах серійного виробництва. | |
| |  | | --- | | На основі проведених у роботі досліджень можна зробити такі висновки.  1. Проведений системний аналіз існуючих ДЕЛ ВТР та, з урахуванням результатів досліджень фізичних умов горіння ВТР, показана перспективність їх застосування в електронно-променевих технологіях під час проведення технологічних операцій у низькому та середньому вакуумі у середовищі різноманітних газів, зокрема активних. Показано, що при визначених умовах роботи використання ДЕЛ ВТР замість традиційних термокатодних джерел електронів дозволяє підвищити ефективність електронно-променевого технологічного обладнання.  2. Розглянуто існуючі методи моделювання та проектування ДЕЛ ВТР та проведено класифікацію моделей ЕОС ВТР відповідно до методології САПР. Згідно з проведеною класифікацією окремо виділені моделі мікрорівня, макрорівня та метарівня для ЕОС ВТР та визначені методики їх побудови, що дозволило сформулювати головні наукові та технічні задачі щодо моделювання ЕОС ВТР на різних рівнях ієрархії.  3. Розроблена та реалізована методика та техніка комплексних досліджень ДЕЛ ВТР, яка включає чисельні методи аналізу та синтезу ЕОС ВТР, розрахунок та вимірювання балансу потужності на електродах, моделювання енергетичних характеристик та транспортування пучка у еквіпотенціальному каналі, експериментальні дослідження умов генерації та формування електронних пучків. Особливістю розробленої методики є поєднання теоретичних та експериментальних досліджень енергетичних та електронно-оптичних параметрів ДЕЛ ВТР, що дозволило за рахунок комплексних досліджень умов генерації та формування електронних пучків у ВТР сформулювати практичні рекомендації щодо проектування ДЕЛ ВТР потужністю від одиниць до сотень кіловат.  4. Вивчені умови генерації та формування інтенсивних та потужних електронних пучків, вплив форми електродів та анодної плазми, матеріалу катода та робочих газів на вихідні параметри електронного пучка. Показано, що для генерації потужних електронних пучків у ДЕЛ ВТР необхідно використовувати холодні катоди з високим коефіцієнтом іонно-електронної емісії та високою теплопровідністю, та легкі гази, які мають високий коефіцієнт електроперенесення. При виборі складу газового середовища необхідно враховувати особливості емісійних характеристик катода.  5. Розроблена двовимірна фізико-математична модель ВТР, основана на методі трубок струму, які не деформуються, яка дозволяє визначати фокальні параметри електронного пучка, що формується, при заданій геометрії електродів. Запропонована модель відрізняється тим, що межа анодної плазми розглядається як електрод із фіксованим потенціалом. На першому етапі моделювання положення плазмової межі задається через електричні характеристики розряду та геометрію електродів, а на наступних етапах визначається через аналіз яскравості фотографій розрядного проміжку. Запропонована методика моделювання дозволяє використовувати експериментальні дані для підвищення точності описання геометрії плазмової межі, що дає можливість підвищити точність розв’язку самоузгодженої електронно-оптичної задачі.  6. Розроблена двовимірна фізико-математична модель процесу транспортування електронного пучка, що формується у ДЕЛ ВТР, в еквіпотенціальному каналі, яка враховує фокусувальне поле несиметричної та симетричної магнітних лінз та розподіл тиску залишкового газу вздовж каналу транспортування пучка. Математична модель, яка базується на системі алгебро-диференційних рівнянь, що описують рух електронів у іонізованому газі низького тиску, розв’язувалася чисельно методом Ейлера. На основі запропонованої моделі була створена система комп’ютерного моделювання, яка дозволяє оптимізувати параметри системи транспортування пучка через зміну геометрії циліндричного каналу транспортування та параметрів фокусувальних лінз.  7. Розроблено методику моделювання та наскрізного проектування ДЕЛ ВТР, яка дозволяє здійснювати розробку ефективних джерел електронів різної потужності, призначених для технологічного застосування. Відмітною рисою розробленої методики є те, що вона складається із трьох етапів. На першому етапі проводиться попередній розрахунок основних геометричних параметрів ДЕЛ ВТР та оцінка енергетичних й електронно-оптичних характеристик. На другому етапі виготовляється діючий експериментальний макет ДЕЛ ВТР, проводяться його випробування, та через фотографування розрядного проміжку визначається положення та форма межі анодної плазми. На третьому етапі, у ході моделювання та експериментальних досліджень, проводиться корекція електродної системи та досягається відповідність експлуатаційних параметрів ДЕЛ ВТР вимогам технологічного процесу.  8. Підвищена потужність ДЕЛ ВТР, а також надійність та стабільність їх роботи, за рахунок використання відповідних матеріалів, форми та конструкції основних електродів та вузлів, робочих газів, з урахуванням особливостей генерації, формування та транспортування електронних пучків ВТР. Це дозволило розробити ефективні джерела електронів з покрашеними характеристиками, які відповідають сучасним вимогам, що висуваються до електронно-променевих технологічних пристроїв.  9. Розроблені та впроваджені у виробництво електронні гармати ВТР потужністю від 10 до 600 кВт, які не мають аналогів і призначені для зварювання, випаровування, плавки та іншого технологічного застосування. Визначені галузі можливого застосування електронних гармат ВТР для різноманітних процесів електронно-променевих технологій залежно від енергетичних параметрів електронних пучків, які формуються. | |