



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 109032

(13) C2

(51) МПК

H01J 3/02 (2006.01)

H01J 37/077 (2006.01)

H01J 37/075 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2013 06491	(72) Винахідник(и):	Маттауш Геста (DE), Файнойгле Петер (DE), Кірххофф Фолькер (DE), Вайске Дітер (DE), Фласке Хенрік (DE), Цайбе Райнер (DE)
(22) Дата подання заявки:	08.09.2011	(73) Власник(и):	ФРАУНХОФЕР-ГЕЗЕЛЛЬШАФТ ЦУР ФЕРДЕРУНГ ДЕР АНГЕВАНДТЕН ФОРШУНГ Е.Ф., Hansastraße 27C, 80686 München, Germany (DE)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	10.07.2015	(74) Представник:	Мошинська Ніна Миколаївна, реєстр. №115
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	10 2010 049 521.2	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	DE 2741363 A1, 22.03.1979 US 3430091 A, 25.02.1969 SU 813536 A1, 15.03.1981 UA 60377 C2, 15.10.2003
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	25.10.2010		
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку:	DE		
(41) Публікація відомостей про заявку:	25.07.2013, Бюл.№ 14		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.07.2015, Бюл.№ 13		
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ	PCT/EP2011/004517, 08.09.2011		

(54) ПРИСТРІЙ ГЕНЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОГО ПРОМЕНЯ

(57) Реферат:

Винахід стосується пристрою генерування електронного променя, що включає в себе корпус (12), який обмежує вакуумований простір (13) і має отвір для виходу електронного променя; впуск (16) для подавання робочого газу у вакуумований простір (13); плоский катод (14) і анод (15), які розташовані у вакуумованому просторі (13) і між якими за допомогою прикладеної електричної напруги може створюватися плазма тліючого розряду, при цьому іони з плазми тліючого розряду можуть бути прискорені на поверхню катода (14). Катод має першу частину (14a), що складається з першого матеріалу, яка утворює центрально розташовану першу ділянку поверхні катода (14), а також другу частину (14b), що складається з другого матеріалу, яка утворює другу ділянку поверхні катода (14), що охоплює першу ділянку поверхні. Перший матеріал при впливі на нього прискорених іонів може нагріватися до деякої температури, при якій електрони виходять з першого матеріалу переважно за рахунок термоелектронної емісії.

UA 109032 C2

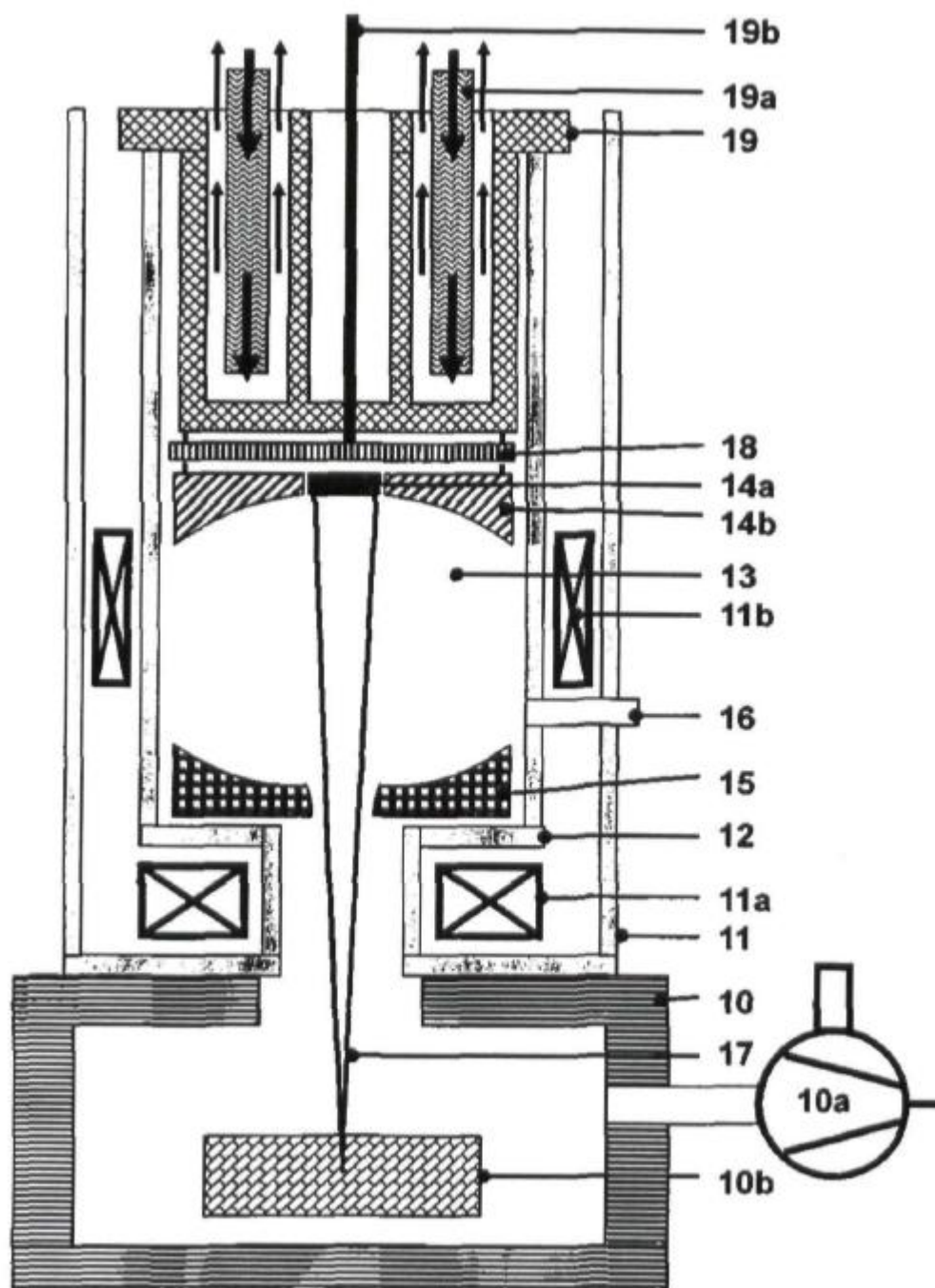


Fig. 1

Опис

Винахід стосується пристрою генерування електронного променя. Зокрема, за допомогою пристрою, який пропонується винаходом, може створюватися "тонкий" електронний промінь з маленьким діаметром у фокусі і високою густиною потужності і використовуватися для впливу в заданому місці технологічного процесу всередині вакуумної камери, при цьому генератор випромінювання і його модулі живлення відрізняються компактною конструкцією, зручністю технічного обслуговування і відносно низькою вартістю виготовлення. Характерними технологічними галузями застосування генератора випромінювання, який пропонується винаходом, є покриття субстратів функціональними шарами (такими як, наприклад, шари для захисту від корозії, декор, дифузійні бар'єри, екранування для електромагнітної сумісності, теплоізоляція і так далі) шляхом фізичного осадження з газової фази (PVD), очищення і облагороджування металів переплавленням у вакуумі, а також нерознімне з'єднання конструктивних елементів за допомогою зварювання плавленням.

Рівень техніки

Обробка заготовок і продуктів за допомогою декоративних або функціональних тонкоплівкових систем є важливою галуззю застосування технології обробки зовнішніх поверхонь. Велике поширення у виробничих процесах набули при цьому різноманітні, екологічні і економічні способи фізичного осадження з газової фази (PVD), при яких матеріал покриття у вакуумі спочатку випаровується, а потім, іноді навіть при додаванні реактивних газів, контрольованим чином конденсується на відповідних субстратах у вигляді плівки. Важливими критеріями вибору належного способу нанесення покриття серед різних технологій, що є в розпорядженні, нарівні з морфологією, що досягається, чистотою і адгезією шару, який підлягає осадженню, є передусім також швидкість наростання, а також необхідні капіталовкладення і експлуатаційні витрати на випарник, оскільки від цих параметрів вирішальним чином залежить економічність технологічного процесу.

Джерела електронного променя різної конструкції застосовуються протягом багатьох десятиріч для здійснення промислових високошвидкісних способів PVD. Електронно-променеві випарники дозволяють отримати максимально досяжні в промисловості швидкості нанесення покриттів одночасно з найкращою рівномірністю і чистотою осаджуваного шару, навіть для реактивних, феромагнітних і тугоплавких матеріалів шару. Ці характеристики є результатом високої густини потоку потужності, яка безінерційно задається шляхом магнітного фокусування і керування променем, а також за рахунок безпосереднього нагрівання поверхні, що утворює пару, завдяки чому тиглі, необхідні для зберігання матеріалу покриття, можуть охолоджуватися і при цьому не викликати забруднень покриття.

Як джерела електронів для промислових процесів PVD в даний час застосовуються виключно катоди, що нагріваються до високої робочої температури, у яких генерування вільних електронів основане на термоелектричному ефекті (GB 1 041 282 A). Принцип дії цих електродів, які позначаються також "термоелектронними катодами", призводить до того, що традиційні випромінювачі електронів виконані конструктивно складно і з точки зору джерел їх електроживлення відносно витратно, і при цьому певні варіанти здійснення винаходу можуть покривати тільки дуже обмежену галузь технологічного застосування.

Найбільш поширеним джерелом пари для електронно-променевого випаровування (що позначається також "EB-PVD", Electron beam physical vapor deposition, електронно-променеве фізичне паровозове осадження) є, наприклад, так звані поперечні електронно-променеві джерела (які називаються також "transverse EB guns", поперечні електронно-променеві гармати), у яких генерування променя, магнітне відхилення променя на 270° і тигель з випаровуваним матеріалом частіше за все інтегровані в один компактний функціональний блок. Ці джерела є відносно недорогими, однак їх максимальна потужність випромінювання (приблизно 20 кВт), а також прискорювальна напруга (приблизно 20 кВ) і разом з тим також генерована швидкість випаровування обмежені. Крім того, власне джерело випромінювання (катод з нагрівальним пристроєм) знаходиться на рівні тиску камери для нанесення покриття і піддане безпосередньому впливу пари і газів, що знаходяться в ній.

Внаслідок цього значення тиску в камері для нанесення покриття повинні залишатися низькими за рахунок вибору відповідно великих розмірів вакуумних насосів, щоб уникнути нестабільності при експлуатації джерела електронів. При високошвидкісному осадженні діелектричних з'єднань, при якому здійснюють реактивне керування процесом для забезпечення стехіометрії, що задовольняє вимогам, тобто встановлення відносно високого парціального тиску (приблизно від 0,1 Па до 1,0 Па) реактивних газів всередині вакуумної камери, "поперечні електронно-променеві гармати", незважаючи на численні конструктивні або

схемотехнічні удосконалення, не змогли зарекомендувати себе зокрема, через їх неприйнятно високу в даних технологічних умовах схильність до пробів під дією високих напруг.

Технологічно більш ефективним променевим інструментом для EB-PVD є так звані осьові джерела електронного променя ("axial EB guns" - осьові електронно-променеві гармати), які 5 призначаються для здійснення способу випаровування з потужностями випромінювання до 300 кВт і прискорювальними напругами до 60 кВ (для особливих випадків застосування навіть до 75 кВ). Катодну камеру подібних генераторів випромінювання відділяють від технологічної камери за допомогою діафрагм з невеликим, частіше за все круглим отвором для проходження променя, який з точки зору вакуумної технології виконує функцію опорів потоку, і вакуумують 10 окремо за допомогою додаткових високовакуумних насосів (в сучасних варіантах здійснення - за допомогою турбомолекулярних насосів). Тим самим процес випаровування також може здійснюватися за ще більш високого тиску і, зокрема, навіть з високою частотою реактивних газів в камері для нанесення покриття. Крім того, при цьому досягаються більш високі швидкості нанесення покриттів без втрати стабільності. Однак, такого роду системи є досить витратними 15 відносно необхідних капіталовкладень, і тому внаслідок економічних причин також застосовуються переважно тільки у вузькій галузі застосування.

Щоб подолати це обмеження, створені різні генератори випромінювання з холодним катодом, забезпечені плазмовим анодом, в яких вивільнення електронів основане не на термоелектричному ефекті, а є результатом обстрілу іонами металевого електроду з великою 20 площею поверхні. Тліючий розряд високої напруги, що підтримується в джерелі випромінювання, виробляє при цьому іони і прискорює їх до катода. Електрони, балістично перенесені в цьому випадку з твердого тіла у вакуум, при катодному падінні плазми прискорюються і за рахунок відповідних контурів електроду формуються в гомоцентричний промінь, який може фокусуватися за допомогою традиційних електронно-оптичних модулів і 25 спрямовуватися до випарника.

У той час як для термоелектричних емітерів необхідний високий вакуум більший ніж в 10^{-3} Па в катодній камері, робочий тиск холодного катода, стимульованого плазмою, залежно від робочої напруги, робочого газу плазми і від розрядного струму, що отримується в даний момент, знаходиться в діапазоні від 2 до 10 Па. Тому можна обійтися без диференціального 30 вакуумування джерела випромінювання до тиску, який дорівнює приблизно 1 Па, в камері для нанесення покриття, не відмовляючись від істотних переваг осьових випромінювачів, таких як технологічна універсальність, а також просторове і вакуумно-технічне розділення випарника і джерела випромінювання і пов'язана з цим перевага в підвищенні надійності. Регулювання потужності випромінювання відбувається при цьому шляхом варіювання густини плазми в 35 катодній камері за допомогою швидкого регулювання газового потоку. Замість багатожильних проводів високої напруги, що використовуються досі у випадку термоелектронних катодів, достатньо одного однополюсного кабелю, і для подавання живлення високою напругою також не потрібно додаткового блока живлення, що знаходиться під плаваючим високим потенціалом. Як економічно ефективний результат потрібно підкреслити, що виготовлення систем, 40 реалізованих на основі випромінювачів з холодним катодом, що складаються з джерела випромінювання, включаючи компоненти його живлення і керування, в порівнянні з традиційними системами осьових випромінювачів можливо зі значно більш низькими витратами.

Отже, згадані осьові випромінювачі з холодним катодом мають ряд переваг у порівнянні з 45 традиційними випромінювачами з розжарюваним катодом, однак при певних технічних параметрах або в особливих випадках застосування мають також деякі недоліки. Так, відносно низька густина струму емісії холодного катода, що досягається (100 mA/cm^2 у порівнянні з досягаючою 10 A/cm^2 у вольфрамового розжарюваного катоду), вимагає для високих струмів імплементації катодів з великою поверхнею. Результатом цього є як правило збільшений 50 діаметр променя і більш низька густина потужності в місці здійснення процесу. Конструктивний розмір джерела випромінювання, тим самим, небажаним чином знову збільшується в діапазоні високої потужності. Крім того, електронна оптика стає більш витратною, в той час як швидкість випаровування, загалом, дещо менша, ніж у традиційних систем з такою ж номінальною потужністю.

Робочий газ, необхідний для підтримки тліючого розряду високої напруги в катодній камері, 55 постійно тече в технологічну камеру через осьовий отвір, необхідний для відведення випромінювання, оскільки для регулювання розряду в самому випромінювачі повинен завжди підтримуватися дещо надмірний тиск в порівнянні з технологічною камерою. Ця кількість газу повинна відкачуватися вакуумною системою технологічної камери додатково до технологічно 60 зумовленого виходу газу.

Для забезпечення прийняттого коефіцієнта корисної дії (відношення між вихідною потужністю випромінювання і загальною потужністю, що живить розряд, цільове значення: >90 %) в робочому газі плазми необхідні, крім того, реактивні компоненти, такі як, наприклад, кисень або двоокис вуглецю, які служать для утворення і стабілізації діелектричних відкладень на поверхні катода і разом з тим для підвищення виходу його вторинних електронів (кількість емітованих електронів на один падаючий іон). З технологічної точки зору, однак, цей метод проблематичний для технологічних процесів, що пред'являють високі вимоги до інертизації або, відповідно, до чистоти, а відносно системотехніки він призводить під час застосування до додаткових витрат, оскільки в порівнянні з металево чистими поверхнями електродів частота пробоїв при високій напрузі значно підвищується.

Конкурувальні вимоги по розвантаженню сили поля для катода (для цього прагнуть до великих відстаней між електродами) і надійному екрануванню темного поля (для цього переважні невеликі відстані між електродами) все більше утруднюють стабільну протягом тривалого часу підтримку високих прискорювальних напруг у основаних на плазмі джерелах випромінювання із зростаючим робочим тиском. Досі робочі напруги, що становлять приблизно 30 кВ, і що досягаються в діапазоні високої напруги за допомогою випромінювачів з холодним катодом, були достатніми для способів нанесення покриття у високому вакуумі, таких як, наприклад, металізація (при приблизно від 0,001 до 0,01 Па). Але для реактивних високошвидкісних процесів нанесення покриття із звичайно значно більш високим тиском в технологічній камері (приблизно від 0,1 до 1 Па) через покращену при цьому можливість передачі енергії променя були б більш доцільні напруги в діапазоні від 40 до 60 кВ.

Отримувана в результаті бомбардування іонами потужність втрат на катоді з порядком величини, що становить приблизно 5 % від вихідної потужності випромінювання, відносно висока. Тому безпосереднє водяне охолодження катода при високих потужностях випромінювання неминуче. Але це непереважно за двох причин. З одного боку, охолоджуючу воду приводять в контакт з електродом, що проводить високу напругу. Тому для зменшення цієї різниці потенціалів з малим струмом втрат (орієнтовне значення: >1 мВ/5 кВ, відповідно для прямого і зворотного напрямку), а також для забезпечення достатнього захисту персоналу повинні прокладатися декілька метрів шлангів, забезпечених спеціальною захисною ізоляцією. З іншого боку, при кожній заміні катода необхідне трудомістке перекриття, продування і відкриття циркуляційного контуру води.

Постановка задачі

В основу винаходу покладена технічна задача створення пристрою, призначеного для генерування електронного променя, за допомогою якого можуть бути подолані недоліки рівня техніки. Зокрема, за допомогою цього пристрою повинна забезпечуватися можливість генерування вузького електронного променя з маленьким діаметром у фокусі і високою густиною потужності при одночасно простій конструкції і конфігурації системи.

Рішення технічної задачі здійснюється за допомогою пристрою з ознаками п. 1 формули винаходу. Інші переважні варіанти здійснення винаходу розкриваються в залежних пунктах формули винаходу.

Пристрій, що пропонується винаходом, включає в себе корпус, який щонайменше в одній області обмежує вакуумований простір. Через впуск в корпусі робочий газ впускається у вакуумований простір, щоб між плоским катодом і відповідним анодом, які розташовані у вакуумованому просторі (що означається в нижченаведеному описі також катодною камерою), могла утворюватися плазма тліючого розряду. Для цього між катодом і анодом за допомогою пристрою електроживлення вмикається електрична напруга. Як пристрій електроживлення можуть застосовуватися всі відомі з рівня техніки прилади високої напруги, які можуть забезпечувати необхідні за технологією напруги (звичайно <10³ кВ) і струми (звичайно <25 А). Іони з плазми тліючого розряду прискорюються в напрямі катода і при потраплянні на поверхню катода вивільнюють вторинні електрони, які при катодному падінні прискорюються і формують електронний промінь, який через вихідний отвір для електронного променя направляється з корпусу і потім далі до місця технологічного процесу. Тому пристрій, що пропонується винаходом, схожий на генератор електронного променя з холодним катодом, в якому електронний промінь генерується на основі тліючого розряду.

Істотна ознака пристрою, що пропонується винаходом, основана на особливому виконанні плоского катода. Цей катод включає в себе щонайменше дві частини, які складаються з електрично провідних, але в решті різних матеріалів. У центральній першій ділянці поверхні катод пристрою, що пропонується винаходом, складається щонайменше з одного першого матеріалу, який має властивість як порівняно високий вихід вторинних електронів ($\gamma > 5$; більш точне значення залежить від енергії бомбардувальних іонів) (як це необхідно у випадку

джерела випромінювання з холодним катодом і відповідним плазмовим анодом), так і більш низьку роботу виходу електронів ($\phi < 4$ eV) і високу точку плавлення ($T_s > 1750$ K) (як це переважно у випадку розжарюваного катода). Матеріали, що є в розпорядженні, які задовольняють цим критеріям, можуть бути вибрані, наприклад, з групи боридів рідкісноземельних елементів. В одному варіанті здійснення перша частина катода, яка утворює центральну ділянку поверхні, складається з масивної, дископодібної таблетки гексабориду лантану (LaB_6). В іншому варіанті здійснення перша частина катода складається зі складового елемента, який в ділянці поверхні, що емітує електрони, включає в себе шар LaB_6 , який за допомогою високотемпературної клеючої речовини або припою був закріплений на термостійкій підкладці. Альтернативно шар з LaB_6 може бути також осаджений на підкладці за допомогою інших способів, таких як, наприклад, спосіб PVD, сплавлення, зварювання або спосіб порошкового напилювання.

Друга частина катода, що включає в себе ділянку поверхні, яка охоплює середню, першу ділянку поверхні, складається з другого матеріалу. Другий матеріал має властивість високої термостійкості ($T_s > 1750$ K) і якомога більш низької теплопровідності і має тільки невеликий вихід вторинних електронів ($\gamma < 5$) при високій роботі виходу ($\phi > 4$ eV). Для цього, наприклад, особливо підходить графіт. Але альтернативно для цього можуть також застосовуватися такі матеріали, як тугоплавкі метали, такі як, наприклад, W, Ta, Mo, Ti, сплави цих матеріалів або, для невеликих потужностей випромінювання, також нержавіюча сталь.

Відомі генератори електронного променя з холодним катодом звичайно містять пристрій охолодження, за допомогою якого, з одного боку, охолоджується сам катод, щоб його матеріал (наприклад, алюміній) не плавився внаслідок підведення енергії при бомбардуванні іонами, а з іншого боку, за допомогою такого пристрою охолодження охолоджуються також межуючі з холодним катодом конструктивні елементи для уникнення їх пошкодження.

Пристрій, що пропонується винаходом, може бути також забезпечений пристроєм охолодження. З його допомогою, однак, не охолоджується катод, тому що відповідно до винаходу щонайменше нагрівання першої частини, що включає в себе середню ділянку поверхні катода, внаслідок бомбардування іонами бажане або, відповідно, навіть необхідне, як це буде пояснене нижче. Оскільки у пристрою, що пропонується винаходом, за допомогою пристрою охолодження повинні охолоджуватися тільки суміжні конструктивні елементи катода, переважно, термічно ізолювати катод від суміжних конструктивних елементів. Це стосується, зокрема, конструктивних елементів, які розташовані за катодом відносно електронного променя.

Коли у пристрою, що пропонується винаходом, запалюють тліючий розряд, при цьому між катодом і анодом прикладають звичайну для генератора електронного променя електричну високу напругу, а робочий газ через впуск направляють у вакуумовану катодну камеру, відбувається наступне: середня, перша ділянка спочатку холодного катода, що складається з першого матеріалу, при впливі на неї прискореними іонами спочатку виконує тільки функцію емітера вторинних електронів. При бомбардуванні, що продовжується іонами і за відсутності охолодження ця ділянка, проте, безперервно нагрівається, поки перший матеріал в кінцевому результаті не досягне деякої температури поверхні, при якій додатково виходять ще і електрони, що емітуються при розжарюванні внаслідок термоелектричного ефекту і підвищують густину потоку електронів електронного променя. Починаючи з цієї температури поверхні, обидва механізми емісії діють, співіснуючи, при цьому посилюється термоелектричний ефект з температурою, що продовжує підвищуватися, поверхні першого матеріалу. Тому за допомогою пристрою, що пропонується винаходом, досягаються густини потоку електронів, які звичайно відомі тільки у випадку генераторів електронного променя з розжарюваним катодом. Оскільки у катода пристрою, що пропонується винаходом, діють обидва механізми емісії, для такого катода в даній заявці вводиться термін "гібридний катод".

Однак в обох режимах емісії вільні електрони у гібридного катода є електронами переважно з першої частини катода, яка складається з першого матеріалу. Тому ця частина катода нижче також називається емітером. Невелика кількість вторинних електронів, які емітуються другим матеріалом, навпаки, є неістотною для профілю густини потужності електронного променя. Оскільки електрони електронного променя по суті випромінюються по суті тільки емітером, його форма і розмір також є суттєвими для форми і розмірів поперечного перерізу електронного променя. Як вже описувалося вище, поверхня емітера становить тільки частину поверхні катода, завдяки чому у випадку генераторів електронного променя з гібридним катодом можуть генеруватися електронні промені з невеликим поперечним перерізом променя, на відміну від генераторів електронного променя з холодним катодом, у якого зі всієї поверхні відповідного

плоского катода емітуються електрони і таким чином генеруються електронні промені великого поперечного перерізу.

Звичайно у осьових випромінювачів з холодним катодом поверхні, що емітують електрони, мають круглу, увігнуто викривлену форму, щоб формувати електронний промінь з круглим поперечним перерізом. Гібридний катод також переважно виконаний круглим. У цьому випадку матеріал емітера виконаний у вигляді круглого диска, а другий матеріал, який охоплює емітер, кільцеподібно з увігнутим викривленням. Альтернативно емітер може також мати будь-яку іншу геометричну форму.

Поверхня емітера, що емітує електрони, може бути вироблена плоскою, опуклою або увігнуто викривленою, крім того, вона може бути розташована на одній прямій з оточуючою поверхнею другого матеріалу або з осьовим зміщенням відносно його поверхні на певну відстань проти або в напрямку емісії. Для оптимізації теплоізоляції емітера доцільний щонайменше один вакуумований зазор між задньою стороною катода і охолоджуваними суміжними конструктивними елементами, ще більш переважно доцільний розташований із задньої сторони екран для захисту від випромінювання, виконаний у вигляді багат шарового відбивача з плаваючою температурою.

Другий матеріал, який охоплює емітер, нарівні з функцією фіксації матеріалу емітера, повинен виконувати по суті три задачі.

По-перше, за допомогою другого матеріалу збільшується поверхня катода. А саме, якщо повинен генеруватися електронний промінь з невеликим діаметром променя, і відповідно поверхня, що емітує електрони, емітера дуже мала, то одна тільки поверхня емітера може бути дуже малою для того, щоб підтримувати стабільний тліючий розряд між емітером і анодом. Другий матеріал з цієї причини повинен бути також електрично провідним і мати такий самий електричний потенціал, що й емітер, для збільшення поверхні катода. Тому в одному варіанті здійснення поверхня другого матеріалу, що бомбардується іонами, щонайменше в три рази більша поверхні емітера.

По-друге, вище вже була викладена концепція теплоізоляції катода відносно суміжних конструктивних елементів. Другий матеріал, який охоплює матеріал емітера, утворює при цьому перший рівень теплової ізоляції емітера, що дуже сильно нагрівається відносно суміжних модулів при бомбардуванні іонами. Тому другий матеріал, що нагрівається в результаті бомбардування іонами, а також в результаті теплопередачі, яка йде від емітера, повинен мати погану теплопровідність. Для утворення теплового бар'єру емітер може також бути дистанційований за допомогою зазору від оточуючого другого матеріалу. В цьому випадку цей зазор діє одночасно як температурний шов для матеріалу емітера, що нагрівається і за рахунок цього розширюється. Причому розміри цього зазору переважно повинні бути вибрані таким чином, щоб він навіть при максимально нагрітому матеріалі емітера не повністю закривався розширюваним матеріалом емітера. За допомогою відповідного контактування (наприклад, за допомогою стопорного кільця) завжди повинно забезпечуватися, щоб емітер і другий матеріал мали однаковий електричний потенціал, і щоб продовжувало забезпечуватися передавання струму до емітера.

По-третє, шляхом варіювання геометричної форми другого матеріалу можна впливати на електростатичне формування променя. Поверхня другого матеріалу для генерування осьового електронного променя переважно сферично-увігнуто або конусоподібно викривлена і формує, таким чином, (квазі-) сферичний характер електричних еквіпотенціальних поверхонь в області осі випромінювача, що потім призводить до радіально-конвергентного прискорення електронів. Такого роду гомоцентричні електронні промені особливо добре піддаються електронно-оптичному керуванню і проектуванню з високою густиною потужності до місця технологічного процесу. Контур поверхні другого матеріалу, зокрема, вибирається таким чином, щоб діаметр електронного променя в області вихідного отвору з корпусу катодної камери був якомога меншим. При цих умовах поперечний переріз вихідного отвору може також бути невеликим, що дозволяє підтримувати тліючий розряд в катодній камері при відносно низькій витраті робочого газу.

Один з генераторів електронного променя, що пропонуються винаходом, під час його застосування переважно прифланкований до стінок вакуумної технологічної камери, так що її вакуум поширюється через отвір для виходу променя всередину катодної камери. Генератор електронного променя не має потреби, таким чином, у власному вакуумному насосі для вакуумування катодної камери, а це здійснюється в даному випадку за допомогою вакуумного насоса (насосів) вакуумної камери, тому технологічний тиск у вакуумній камері може вибиратися нижчим, ніж робочий тиск тліючого розряду в катодній камері.

Регулюючою величиною для регулювання струму емісії гібридного катода, як і у холодного катода, є об'єм потоку робочого газу плазми. На відміну від холодного катода керування емісією електронів, проте, здійснюється не тільки безпосередньо за рахунок густини потоку іонів і безпосередньо генерування вторинних електронів, що залежить від неї, але і опосередковано за рахунок регулювання температури поверхні емісії і за рахунок залежного від цього вивільнення термоемісійних електронів.

Винахід дозволяє реалізувати генератор електронного променя осьового типу, який об'єднує в собі переваги традиційних випромінювачів електронів з розжарюваним катодом (висока густина струму емісії і густина потужності випромінювання, високі прискорювальні напруги, відсутність навантаження технологічної камери реактивним газом, циркуляційні контури охолодження під потенціалом землі) і переваги випромінювачів з холодним катодом, забезпечених плазмовим анодом (менш дорога і компактна конструкція, відсутність власної вакуумної системи, спрощене живлення високою напругою, регулювання потужності під потенціалом землі).

Оскільки діаметр емітера порівняно малий, за допомогою гібридного катода при однаковому струмі і порівняно простій конструкції можуть генеруватися істотно більш тонкі електронні промені (з більшою густиною потужності), ніж за допомогою холодного алюмінієвого катода з великою поверхнею, і застосовуватися в місці здійснення технологічного процесу (наприклад, на тиглі випарника) більш ефективно, ніж досі. Експериментально з гібридного катода з емітером з LaB_6 з діаметром 17 мм і з відповідним графітовим кільцем із зовнішнім діаметром, який дорівнює 90 мм, виходив струм >3 А при прискорювальній напрузі 25 кВ. Для порівняння: алюмінієвий холодний катод, що застосовувався досі, з діаметром 90 мм дозволяє отримати цей струм при приблизно в п'ять разів більшому діаметрі променя.

Відповідно до отриманого раніше аналізу концепції гібридного катода, який базується на емітері з LaB_6 , що нагрівається розрядом газу, в пристрої згідно з винаходом (на противагу пристроям з холодним катодом) можливе застосування інертного робочого газу плазми, такого, як, наприклад, всі благородні гази, в катодній камері. Підмішування реактивних газів, в принципі, можливо, однак може призводити до так званого "хімічного отруєння катода", тому що, наприклад, кисень і водяна пара знижують роботу виходу у емітера з LaB_6 . Переважно повинні застосовуватися легкі робочі гази внаслідок зменшеної за їх допомогою розпилювальної ерозії емісійної поверхні ("фізичне отруєння катода"), і більш низького розсіювання електронів. З урахуванням економічних крайових умов як технічно адекватних і одночасно оптимальних по витратах рішень пропонуються, наприклад, технічно чистий гелій або ж водень.

Регулювання потужності гібридного катода здійснюється, як вже згадано, за допомогою варіювання потоку робочого газу в катодну камеру. Щоправда, в термоелектричному режимі емісії воно діє тільки опосередковано через регулювання температури емісійної поверхні, але в порівнянні з імпульсним нагріванням блока катода із задньої сторони, характерним для традиційного випромінювача високої потужності, все ще є динамічні переваги, оскільки теплова інерція корпусу катода при нагріванні з боку емісії, яке здійснюється при бомбардуванні іонами, виявляється менш сильно.

Експерименти показали, що комбінований механізм емісії гібридного катода в порівнянні з відомими холодними катодами супроводжується також зниженням (при однаковому струмі) тиском робочого газу в катодній камері і, крім того, позитивно корельованою потужністю втрат. Це призводить до трьох переваг: по-перше, кількість газу, що надходить з катодної камери в технологічну камеру, зменшується, сприятливо впливаючи на робочий тиск, що досягається в ній або, відповідно, таким чином, зменшуються вимоги до вибору розмірів вакуумної системи. По-друге, відпадає необхідність у безпосередньому водяному охолодженні катода (завдяки чому відсутні складні, ізольовані від високої напруги шланги системи рідинного охолодження і більше не потрібно відкривати контур охолодження при заміні катода). По-третє, необхідне екранування методом темного поля тримача катода має більш просту конфігурацію, а також більш високі прискорювальні напруги (наприклад, в діапазоні від 40 до 60 кВ) можуть прикладатися з меншими витратами.

Потрібно також нагадати, що в пристрої, що пропонується винаходом, також, як і у відомому з рівня техніки, можуть застосовуватися різні рішення по реалізації анода. У найпростішому випадку корпус катодної камери може електрично вмикатися як анод. Можливо також встановити окремий анод в катодній камері, який електрично ізольований від заземленого корпусу і, таким чином, може також проводити інший потенціал. Такого роду окремий електрод може бути, наприклад, виконаний кільцеподібно, при цьому отвір кільця виконує функцію отвору для виходу електронного променя.

Приклад здійснення

Нижче винахід пояснюється більш детально на прикладах здійснення. На фіг. показано:

Фіг. 1: схематичне зображення пристрою, що пропонується винаходом, для генерування електронного променя;

Фіг. 2: схематичне зображення головки катода джерела електронного випромінювання, забезпеченого блоковим катодом, що нагрівається термоелектричним імпульсом;

Фіг. 3: схематичне зображення головки катода джерела електронного випромінювання, забезпеченого холодним катодом, що безпосередньо охолоджується, який стимулюється тліючим розрядом;

Фіг. 4: схематичне зображення головки катода пристрою, що пропонується винаходом, у варіанті здійснення з монтажною основою, що безпосередньо охолоджується;

Фіг. 5: схематичне зображення головки катода пристрою, що пропонується винаходом, у варіанті здійснення з монтажною основою, що опосередковано охолоджується, і екраном для захисту від випромінювання з плаваючою температурою.

Графічні елементи в межах однієї фігури з однаковим заповнюючим поверхню структуруванням утворюють один конструктивний елемент. На Фіг. 1 схематично зображений пристрій, що пропонується винаходом. На вакуумній камері 10 закріплений генератор 11 електронного променя, який включає в себе корпус 12. Корпус 12 обмежує з боку виходу променя вакуумований простір 13, виконаний у вигляді катодної камери. У катодній камері 13 розташований круглий, плоский катод 14, що складається з двох матеріалів. Дискподібно і плоско виконаний емітер 14a з LaB_6 з діаметром диску, який дорівнює 17 мм, виконує функцію центральної області катода 14. Емітер 14a оточений графітовим кільцем 14b із зовнішнім діаметром, який дорівнює 90 мм, однак механічно відділений від нього ободовим зазором. Проте, як графітове кільце 14b, так і диск 14a емітера, завдяки не зображеним на Фіг. 1 елементам контактування, мають однаковий електричний (катодний) потенціал. Навпроти катода 14 розташований анод 15, який виконаний у вигляді кільцеподібного диску і осьовий отвір кільця якого виконує функцію отвору для виходу електронного променя у вакуумну камеру 10. Вакуумні насоси 10a вакуумної камери 10 вакуумують як саму вакуумну камеру 10, так і катодну камеру 13, в яку через отвір кільця анода 15 поширюється вакуум вакуумної камери 10.

Для запалювання тліючого розряду між катодом 14 і анодом 15 через впуск 16 газу у вакуумовану катодну камеру 13 впускається гелій, і одночасно включається електрична висока напруга, яка дорівнює -30 кВ, характерна для генераторів електронного променя, і яка служить як напруга горіння між катодом 14 і анодом 15, при цьому анод 15, механічно відділений від корпусу 12, за вибором, може знаходитися під потенціалом землі або відмінним від нього електричним потенціалом. Залежно від технологічної мети застосування генератора 11 електронного променя, може бути також доцільно, прикладати високу напругу не у вигляді постійної напруги, а у вигляді імпульсів напруги, які швидко йдуть один за одним. На основі цього між катодом 14 і анодом 15 утворюється плазма тліючого розряду, іони якої прискорюються на поверхню катода 14, після чого переважно з матеріалу емітера 14a емітуються вторинні електрони. Внаслідок відносно невеликої поверхні емітера 14a, що емітує електрони, і увігнутої форми графітового кільця 14b емітовані електрони збираються у вузький електронний промінь 17.

Внаслідок продовжуваного бомбардування іонами не охолоджуваної поверхні емітера вона нагрівається до деякої температури, починаючи з якої додатково до вторинних електронів емітуються також електрони внаслідок теплової емісії матеріалу емітера, які підвищують густину потужності електронного променя 17. Таким чином, виникає електронний промінь з невеликим поперечним перетрізом променя і дуже високою густиною потужності, який виходить з катодної камери 13 через отвір для виходу електронного променя анода 15, а потім за допомогою відомих електронно-оптичних модулів 11a (модулі лінз і відхиляючих котушок) генератора 11 електронного променя направляється до мішені 10b, розташованої у вакуумній камері 10, і там може використовуватися відповідно до передбаченої технічної задачі (наприклад нагрівання, плавлення або випаровування матеріалу).

Поза катодною камерою 13, наприклад, на половині відстані між катодом 14 і анодом 15, розташована додаткова система 11b магнітних котушок, яка складається з двох перехрещених пар сідлоподібних котушок. Завдяки цьому можна створювати в катодній камері 13 магнітне поле варіюваної напруги поля з перпендикулярним осі випромінювача, але азимутально вільно орієнтованим ходом ліній поля. На відміну від відомих систем магнітних котушок для осьових розрядників, у яких іноді осьове магнітне поле застосовується для ущільнення плазми або для стабілізації розряду, система 11b магнітних котушок, описана в даному прикладі здійснення винаходу, служить для генерування магнітного поля, яке проходить уперек осі електронного променя, за допомогою якого можна впливати на напрямок поширення електронного променя

17. При цьому можна завжди точно центрувати електронний промінь 17 по отвору для виходу електронного променя анода 15 навіть під впливом зовнішніх полів перешкод або незважаючи на дещо невірне регулювання катода 14. На відміну від відомих систем випромінювачів, в яких центрувальний блок є частиною електронно-оптичної колони під анодом, система 11b магнітних котушок, описана в даному прикладі здійснення, діє вже в катодній камері 13, тобто вже під час прискорення електронів, і при цьому особливо ефективно. За допомогою цього допоміжного засобу можна встановлювати особливо вузькі ($\leq 20\%$ діаметру катода) допуски діаметру отвору для виходу електронного променя і таким чином додатково зменшувати витрату робочого газу плазми. Хоч система 11b магнітних котушок описана в даній заявці на одному конкретному прикладі здійснення, однак вона може також застосовуватися у всіх інших варіантах здійснення пристроїв, що пропонуються винаходом, при цьому вона розташовується поза катодною камерою на висоті між гібридним катодом і відповідним анодом.

Високі температури, до яких нагрівається емітер 14a при бомбардуванні іонами, вимагають теплового захисту для суміжних конструктивних елементів. З цією метою на задній стороні катода 14 розташований тепловий ізолятор 18, який, в свою чергу, закріплений на електричному ізоляторі 19. Останній одночасно виконує функцію стінок для катодної камери 13 і включає в себе також канали 19a охолодження, а також вакуумонепроникний ввід 19b високої напруги в катодну камеру 13. Канали 19a охолодження виконані у формі труб. Охолоджувальне середовище тече всередині цих труб в напрямку вниз, що пояснюється за допомогою більш товстих направлених вниз стрілок, а в проміжних просторах, які розташовуються між трубами і електричним ізолятором 19, знову в напрямку вгору, що пояснюється за допомогою більш тонких і направлених вгору стрілок. З метою покращення теплової ізоляції емітера 14a він дистанційований за допомогою зазору як від теплового ізолятора 18, так і від графітового кільця 14b.

Для порівняння з рівнем техніки на Фіг. 2 схематично зображений відомий катодний штекер, забезпечений вольфрамовим розжарюваним катодом, а на Фіг. 3 також відома катодна головка, забезпечена алюмінієвим холодним катодом.

Катодний штекер, показаний на Фіг. 2, включає в себе, нарівні з розжарюваним катодом 21 з вольфраму, також нагрівальну спіраль 22, за допомогою якої катод 21 із задньої сторони нагрівається електронним імпульсом, так що при досягненні відповідної температури на передній стороні катода 21 внаслідок термоелектричного ефекту емітуються електрони. Внаслідок відносно невеликого поперечного перерізу катода 21 у пристрою такого роду виникає електронний промінь 23 з невеликим поперечним перерізом променя. На такий катодний штекер повинні, однак, подаватися три електричних потенціали, два електричні потенціали для розжарюваної спіралі і катодний потенціал. Висока робоча температура вольфрамового розжарюваного катода, а також необхідність підведення і взаємної електричної ізоляції декількох потенціалів в обмеженому просторі зумовлюють порівняно складну механічну конструкцію катодного штекера, результатом якої є труднощі виготовлення, а також високі вимоги до монтажу і юстирування.

Катодна головка, показана на Фіг. 3, включає в себе монтажну основу 31, на якій за допомогою гвинтових з'єднань закріплений дископодібний холодний катод 32 з алюмінію із зовнішнім діаметром, який дорівнює 90 мм, причому обидва ці елементи утворюють порожнину 33, через яку протікає охолоджуюче середовище. Охолоджуюче середовище протікає, таким чином, безпосередньо по задній стороні катода 32 і охолоджує його. Між катодом 32 і не зображеним на Фіг. 3 анодом може створюватися тліюча плазма, з якої іони прискорюються на поверхню катода 32, внаслідок чого з матеріалу катода вивільнюються вторинні електрони. Оскільки ці вторинні електрони емітуються з усієї поверхні катода 32, а інші механізми емісії, які могли б вивільняти додаткові електрони, не діють, виникає електронний промінь 44 з відносно великим поперечним перерізом променя і невеликою густиною потужності по відношенню до електронних променів 17 і 23, показаних на Фіг. 1 і Фіг. 2. У порівнянні з витратною катодною головкою для вольфрамового розжарюваного катода, показаною на Фіг. 2, катодна головка холодного катода, проте, виконана конструктивно простіше і більш зручна в технічному обслуговуванні.

На Фіг. 4 катодна головка пристрою, що пропонується винаходом, в першому варіанті здійснення схематично зображена трохи більш детально. Катодна головка включає в себе монтажну основу 40 з алюмінію і монтажну основу 41 з високоякісної сталі, які за допомогою гвинтових з'єднань притиснуті одна до одної. За допомогою накидної гайки 42 графітове кільце 43b із зовнішнім діаметром, який дорівнює 90 мм, притискається до монтажної основи 40. При цьому графітове кільце 43b, в отворі якого вставлений плоский диск 43a емітера з LaB_6 із зовнішнім діаметром 17 мм, виконано таким чином, що графітове кільце 43b з метою теплової

ізоляції на великій поверхні знаходиться на відстані зазору 44 від монтажно́ї основи 40. Емітер 43a і графітове кільце 43b разом утворюють гібридний катод 43, у якого електрони для електронного променя 45 емітуються головним чином емітером 43a. На іншій стороні монтажно́ї основи 40 розташована фасонна деталь 46, яка утворює, таким чином, порожнини 47 в напрямку монтажно́ї основи 40 і 41. Через ці порожнини 47 протікає охолоджуючий засіб, при цьому фасонна деталь 46 забезпечує направлений приплив і інтенсивне охолодження монтажно́ї основи 40. Катодна головка включає в себе також корпус 48 ізолятора з полімерного матеріалу, який електрично ізолює від катодної головки конструктивні елементи, розташовані за катодною головкою. За допомогою цього першого варіанту здійснення пристрою, що пропонується винаходом, при порівняно простому конструктивному виконанні і використанні недорогих матеріалів для конструкції катодної головки вже може генеруватися електронний промінь 45, який за своїм діаметром і густиною своєї потужності відповідає вольфрамовому розжарюваному катоду, показаному на Фіг. 2. Переважно також, що відпадає необхідність в розмиканні циркуляційного контуру охолодження при заміні гібридного катоду 43, як це потрібно у випадку холодного катоду відповідно до Фіг. 3. Проте, неоліком в описаному вище варіанті

ЗМІНЕНА СТОРІНКА

здійснення винаходу є те, що ще існує безпосередній електричний контакт охолоджуючого середовища з катодним потенціалом, що призводить до підвищеної трудомісткості захисної ізоляції циркуляційного контуру охолодження для катодної головки.

На Фіг. 5 схематично зображена катодна головка пристрою, що пропонується винаходом, у другому, додатково вдосконаленому варіанті здійснення. Катодна головка знову включає в себе монтажну основу 50, що в даному прикладі втілення складається з молібдену, утворену з двох частин, які за допомогою гвинтових з'єднань притиснуті один до одного і до корпусу 58 електричного ізолятора, що складається в цьому випадку з нітриду алюмінію. Альтернативно корпус 58 ізолятора може складатися з оксидної кераміки. За допомогою накидної гайки 52 графітове кільце 53b (зовнішній діаметр 90 мм), в отвір якого вставлений плоский диск 53a емітера з LaB_6 (зовнішній діаметр 17 мм), притиснуте до монтажно́ї основи 50. Емітер 53a і графітове кільце 53b разом утворюють гібридний катод 53, в якому електрони для електронного променя 55 емітуються головним чином емітером 53a. При цьому монтажна основа 50 виконана таким чином, що між гібридним катодом 53 і корпусом 58 ізолятора на великій поверхні виникає вакуумований проміжний простір 54 висотою в 10 мм, в який вбудований багат шаровий екран 56 для захисту від випромінювання з плаваючою температурою, що утворюється трьома паралельними дисками з листової високоякісної сталі, з'єднаними між собою заклепками, і розділеними дистанційним елементом. Внаслідок покращеної (в порівнянні з можливістю теплоізоляції окремого проміжного простору, як це реалізовано за допомогою зазору 44, показаного на Фіг. 4), при цьому теплової, ізоляції гібридного катоду 53 монтажна основа 50 не повинна більше безпосередньо обтікатися охолоджуючим засобом. Більше того, порожнини 57 для спрямування охолоджуючого засобу в цьому випадку більше інтегровані в корпус 58 електричного ізолятора, завдяки чому досягається бажана сепарація охолоджуючого засобу і катодного потенціалу. Також через корпус 58 ізолятора веде вакуумощільний підвід 51 високої напруги, через який висока напруга, необхідна для експлуатації відповідного електронного випромінювача, подається на багат шаровий екран 56 для захисту від випромінювання і через нього на катод 53.

ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

1. Пристрій генерування електронного променя, що включає в себе корпус (12), який обмежує вакуумований простір (13) і має отвір для виходу електронного променя; впуск (16) для подання робочого газу у вакуумований простір (13); плоский катод (14) і анод (15), які розташовані у вакуумованому просторі (13) і між якими за допомогою прикладеної електричної напруги створюється плазма тліючого розряду, при цьому іони з плазми тліючого розряду прискорюються на поверхню катоду (14), а емітовані катодом електрони в плазму тліючого розряду, який **відрізняється** тим, що

- а) перша частина (14a) катоду (14), яка утворює центрально розташовану першу ділянку поверхні катоду (14), щонайменше з боку емісії складається з першого матеріалу;
- б) друга частина (14b) катоду, яка утворює другу ділянку поверхні катоду (14), що охоплює першу ділянку поверхні, складається з другого матеріалу;
- с) перший матеріал є електрично провідним і має властивість роботи виходу електронів менше 4 eV;

- d) другий матеріал є електрично провідним і має властивість роботи виходу електронів більше 4 еВ;
- е) перший матеріал при впливі на нього прискорених іонів може нагріватися до температури, за якої електрони виходять з першого матеріалу переважно за рахунок термоелектронної емісії.
- 5 2. Пристрій за п. 1, який **відрізняється** тим, що перша ділянка поверхні виконана плоскою.
3. Пристрій за п. 1, який **відрізняється** тим, що перша ділянка поверхні виконана увігнутою.
4. Пристрій за будь-яким з пп. 1-3, який **відрізняється** тим, що друга ділянка поверхні, яка охоплює першу ділянку, виконана увігнутою.
- 10 5. Пристрій за будь-яким з пп. 1-4, який **відрізняється** тим, що перший матеріал включає в себе борид рідкісноземельних елементів.
6. Пристрій за будь-яким з пп. 1-5, який **відрізняється** тим, що перша ділянка поверхні утворена масивним формованим елементом (14а), що складається з першого матеріалу.
7. Пристрій за будь-яким з пп. 1-5, який **відрізняється** тим, що перша ділянка поверхні є складовою частиною складового елемента.
- 15 8. Пристрій за будь-яким з пп. 1-7, який **відрізняється** тим, що другий матеріал включає в себе графіт.
9. Пристрій за будь-яким з пп. 1-8, який **відрізняється** тим, що другий матеріал включає в себе метал.
10. Пристрій за будь-яким з пп. 1-9, який **відрізняється** тим, що перша і друга ділянки поверхні розділені зазором, що проходить навколо першої ділянки поверхні.
- 20 11. Пристрій за будь-яким з пп. 1-10, який **відрізняється** тим, що щонайменше перший матеріал теплоізований від охолоджуваних частин пристрою заднім тепловим бар'єром.
12. Пристрій за будь-яким з пп. 1-11, який **відрізняється** тим, що тепловий бар'єр включає в себе щонайменше один вакуумований зазор (44; 54) і/або тепловий ізолятор (18; 56).
- 25 13. Пристрій за будь-яким з пп. 1-11, який **відрізняється** тим, що робочий газ тліючого розряду являє собою інертний газ або водень.
14. Пристрій за будь-яким з пп. 1-13, який **відрізняється** тим, що потужність його випромінювання при постійній або імпульсній напрузі горіння регулюється за допомогою варіювання потоку робочого газу тліючого розряду.
- 30 15. Пристрій за будь-яким з пп. 1-14, який **відрізняється** тим, що має корпус (19; 48; 58) електричного ізолятора, який має відділені від катодного потенціалу канали (19а) охолодження і вакуумонепроникний ввід (19b) високої напруги.
16. Пристрій за будь-яким з пп. 1-15, який **відрізняється** тим, що керування напрямком поширення електронного променя (17) в катодній камері (13) здійснюється за допомогою поперечного магнітного поля, що створюється за допомогою системи (11b) магнітних котушок в області між катодом (14) і анодом (15).
- 35 17. Пристрій за п. 15, який **відрізняється** тим, що корпус ізолятора складається з полімерного матеріалу (48), з оксидної кераміки або з нітриду алюмінію (58).

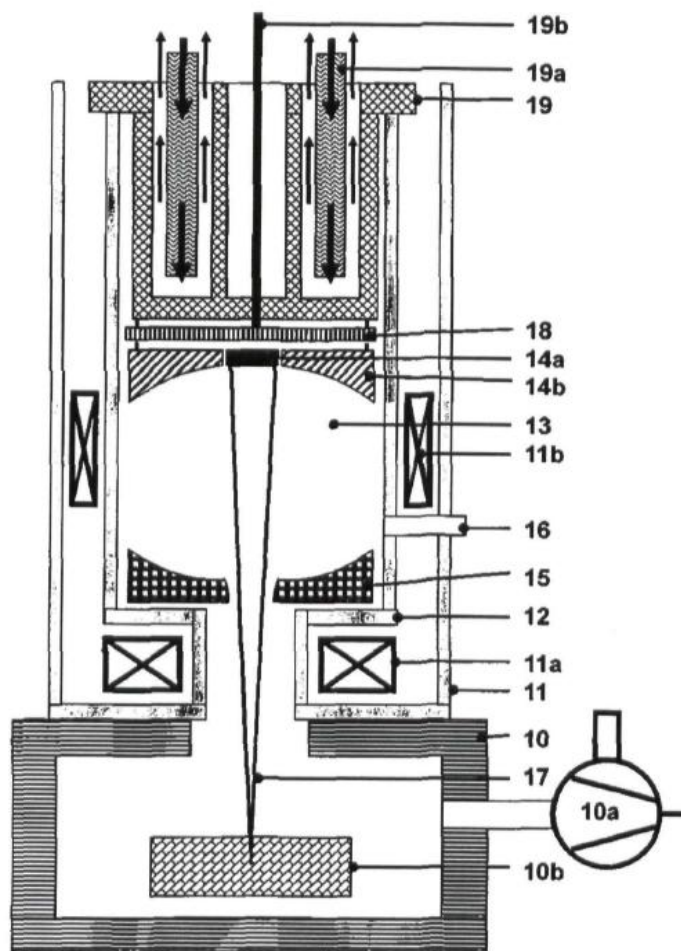


Fig. 1

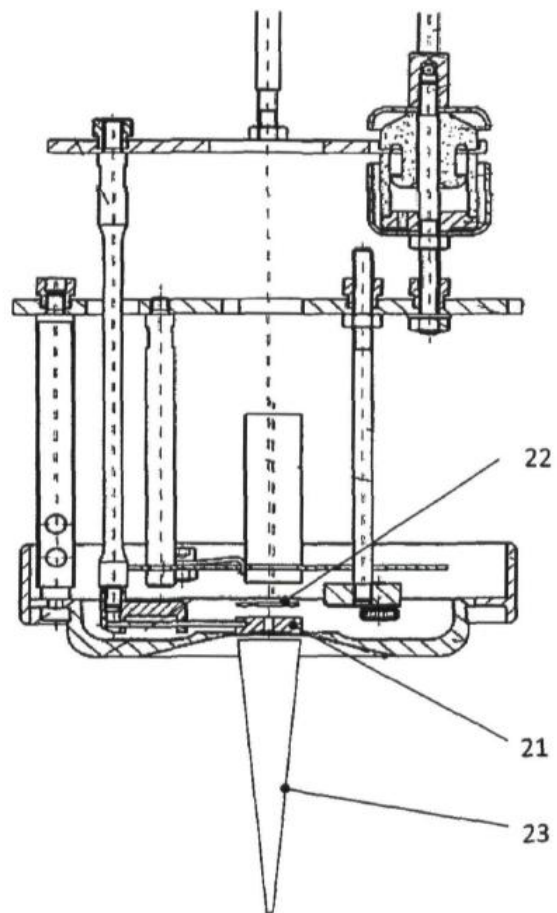


Fig. 2

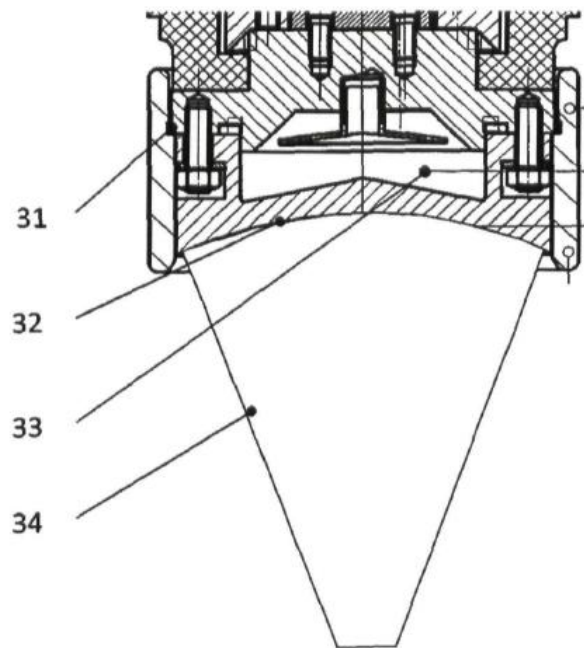


Fig. 3

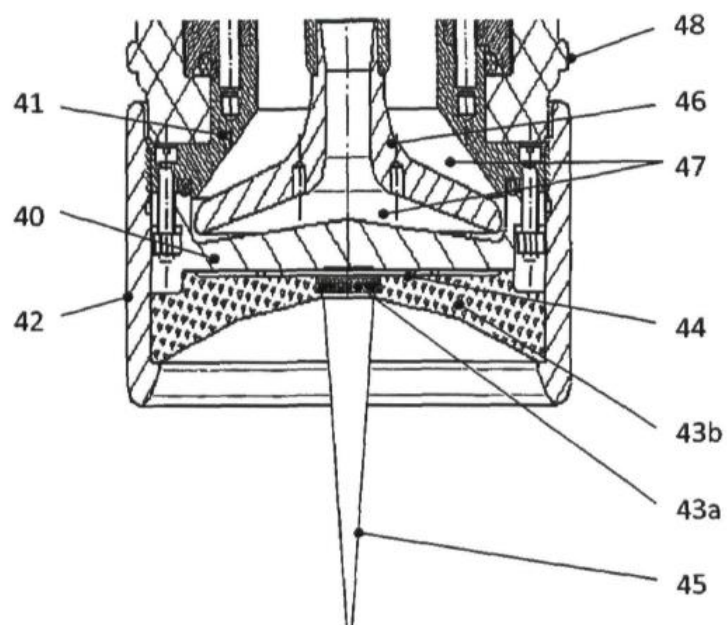


Fig. 4

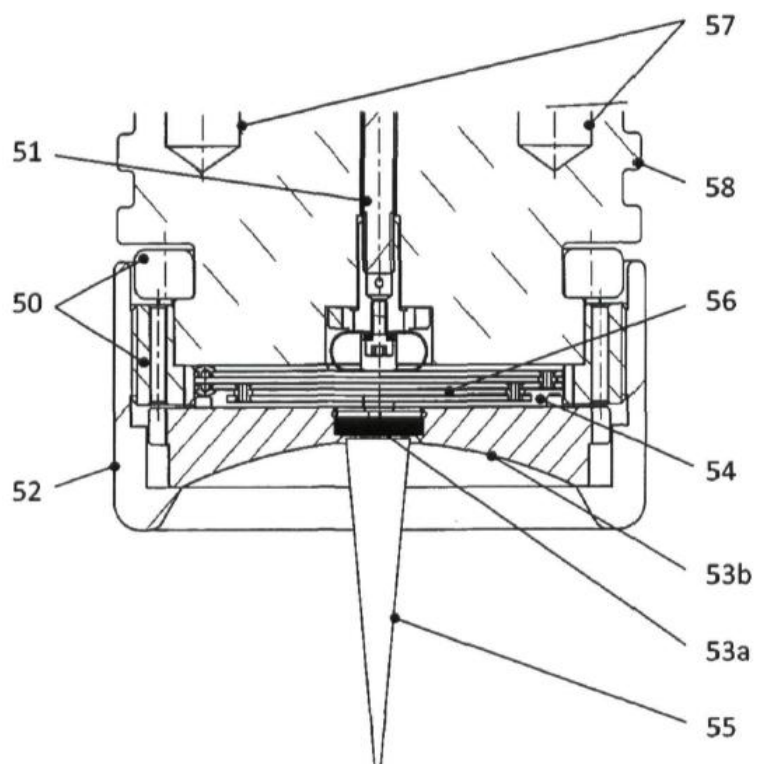


Fig. 5

Комп'ютерна верстка О. Рябко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601