



УКРАЇНА

(19) UA (11) 84675 (13) C2
(51) МПК (2006)
B23K 10/00
H05H 1/00
H05H 15/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ДЖЕРЕЛО ФІЛЬТРОВАНОЇ ПЛАЗМИ КАТОДНОЇ ДУГИ (ВАРІАНТИ)

1

(21) 20041008516
(22) 20.10.2004
(24) 25.11.2008
(31) 10/693,482
(32) 21.10.2003
(33) US
(46) 25.11.2008, Бюл.№ 22, 2008 р.
(72) АКСЬОНОВ ІВАН ІВАНОВИЧ, UA,
СТРЕЛЬНИЦЬКИЙ ВОЛОДИМИР ЄВГЕНІОВИЧ,
UA, ВАСИЛЬЄВ ВОЛОДИМИР ВАСИЛЬОВИЧ, UA,
ВОЄВОДИН АНДРІЙ А., ДЖОУНС ДЖОН Г., ЗАБІН-
СКИ ДЖЕФФРІ С.
(73) ЗАКРИТЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
"ІНСТИТУТ ІНЖЕНЕРІЇ ПОВЕРХНІ", UA
(56) US 2002/007796 A1, 24.06.2002
RU 2037562 C1, 19.06.1995
(57) 1. Джерело фільтрованої вакуумно-дугової
плазми, що містить принаймні один генератор
плазми, і включає:
катод, що витрачається, з торцевою робочою по-
верхнею, яка емітує потік плазми катодного
матеріалу при запалюванні вакуумної дуги;
співвісний із згаданим катодом трубчастий анод;
фокушуючі плазму катодну і анодну магнітні
котушки, що охоплюють згаданий катод, що
витрачається, і згаданий анод, відповідно;
згаданий катод, що витрачається, трубчастий анод
і магнітні котушки, що складають перший
плазменний генератор;
приєднаний до торця анода першого плазменного
генератора плазменний фільтр, що містить в собі
вхідний і вихідний прямолінійні плазмоводи з охо-
плюючими їх магнітними котушками;
згадані плазмоводи і анод згаданого плазменного
генератора, які створюють плазмоведучий канал,
що має принаймні один вихідний отвір і має конфі-
гурацію, що виключає пряму видимість між като-
дом згаданого плазменного генератора і згаданим
вихідним отвором;
а також джерела живлення для згаданої вакуумної
дуги і згаданих магнітних котушок,
яке **відрізняється** тим, що
згаданий вхідний і вихідний прямолінійні плазмо-
води з'єднані під прямим кутом через отвір в стінці
вихідного плазмоводу, що служить для проходжен-

2

ня плазми між згаданими вхідними і вихідним пря-
молінійними плазмоводами;
згадані магнітні котушки постійного струму, навко-
лишні, вхідний і вихідний прямолінійні плазмоводи
доповнені першою і другою коректуючими магніт-
ними котушками для корекції магнітних силових
ліній, що розташовані навколо згаданих вхідного і
вихідного прямолінійних плазмоводів в згаданому
прямокутному переході і забезпечені джерелами
живлення;
згадані джерела живлення для згаданих магнітних
котушок постійного струму, що охоплюють згадані
вхідний і вихідний прямолінійні плазмоводи, і для
згаданих котушок коректування магнітних силових
ліній включають магнітні засоби коректування ліній
магнітного поля всередині згаданого плазмоведу-
чого каналу.
2. Джерело фільтрованої вакуумно-дугової плазми
за п. 1, яке **відрізняється** тим, що згаданий засіб
коректування магнітного поля в згаданому фільтрі
виконаний у вигляді першої і другої коректуючих
котушок, що охоплюють вхідний плазмовід по пе-
риметру з боку першої вхідної котушки і другої
вхідної котушки, відповідно, причому згадані кату-
шки розміщені переважно впритул одна до одної, а
їх сегменти зі сторони вихідного плазмоводу віді-
гнуті в протилежні сторони і охоплюють згаданий
вихідний плазмовід по його периметру.
3. Джерело фільтрованої вакуумно-дугової плазми
за п. 1, яке **відрізняється** тим, що містить додат-
кову магнітну котушку, розміщену коаксіально з
вихідним плазмоводом навпроти його входу у бо-
кову поверхню згаданого вхідного плазмоводу,
причому струми в обмотках згаданої додаткової
котушки і згаданої котушки вихідного плазмоводу
створюють магнітні поля протилежних напрямків.
4. Джерело фільтрованої вакуумно-дугової плазми
за п. 3, яке **відрізняється** тим, що внутрішній ді-
аметр згаданої додаткової магнітної котушки має
величину, проміжну між зовнішнім діаметром зга-
даного вхідного плазмоводу і довжиною згаданого
вихідного плазмоводу.
5. Джерело фільтрованої вакуумно-дугової плазми
за п. 1, яке **відрізняється** тим, що згадані магнітні
котушки постійного струму, охоплюючі згаданий
прямолінійний вхідний плазмовід, складаються з

C2
(13)

84675
(11)

UA
(19)

першої магнітної котушки вхідного плазмоводу, розміщеної на частині згаданого прямолінійного вхідного плазмоводу з відкритим вхідним торцем, і другої магнітної котушки вхідного плазмоводу, розміщеної у віддаленому закритому торці другої частини вхідного прямолінійного плазмоводу.

6. Джерело фільтрованої вакуумно-дугової по п. 1, яке **відрізняється** тим, що струм, що створює магнітне поле однієї полярності, тече в згаданій першій коректуючій магнітній котушці і в згаданій першій магнітній котушці вхідного плазмоводу, а струм, що створює магнітне поле протилежної полярності, тече в обмотках згаданої другої магнітної коректуючої котушки і згаданої другої магнітної котушки вхідного плазмоводу.

7. Джерело фільтрованої вакуумно-дугової плазми за п. 1, яке **відрізняється** тим, що згаданий прямолінійний вхідний плазмовід містить електрично ізолюваний електрод, розміщений у дальньому по відношенню до згаданого трубчастого анода закритому торці згаданої другої частини вхідного плазмоводу.

8. Джерело фільтрованої вакуумно-дугової плазми за п. 1, яке **відрізняється** тим, що містить другий генератор плазми, приєднаний до торця згаданого вхідного плазмоводу з боку, віддаленого від згаданого першого генератора плазми.

9. Джерело фільтрованої вакуумно-дугової плазми за п. 1, яке **відрізняється** тим, що в стінці згаданого вхідного плазмоводу навпроти згаданого отвору є щільна по периметру цього плазмоводу, закрита зовні електрично ізолюваним екраном, причому місцерозташування згаданих щільності і екрана співпадає з місцеположенням магнітної щільності в щільній області магнітного поля, що створюється магнітними котушками в згаданих вхідному і вихідному плазмоводах.

10. Джерело фільтрованої вакуумно-дугової плазми за п. 1, яке **відрізняється** тим, що струм, що створює магнітне поле однієї полярності, тече в згаданій першій коректуючій магнітній котушці і в згаданій першій магнітній котушці вхідного плазмоводу, а також струм, що створює магнітне поле тієї ж полярності, тече в обмотках згаданої додаткової магнітної котушки і в згаданій магнітній котушці вихідного прямолінійного плазмоводу.

11. Джерело фільтрованої вакуумно-дугової плазми за п. 1, яке **відрізняється** тим, що плазмоводи містять розміщені на їх стінках пластинчасті ребра для уловлювання макрочастинок з плазми.

12. Джерело очищеної вакуумно-дугової плазми, що містить:

вакуумно-дуговий пристрій для генерування частот;

магнітний пристрій для розділення частот, розміщений коаксіально із згаданим вакуумно-дуговим пристроєм для генерування частот, і що включає частину, зігнену під прямим кутом, що з'єднує вхідну і вихідну частини каналу для проходження частинок;

згаданий магнітний пристрій для розділення частот, що містить сукупність електромагнітних елементів для генерування магнітного поля, розташованих на деякому віддаленні від зігнутої під прямим кутом частини каналу для проходження

частот; а також другу сукупність електромагнітних елементів для генерування магнітного поля, розташованих вздовж каналу для проходження частот впритул до згаданого вигину каналу для проходження частот,

яке **відрізняється** тим, що

згадана друга сукупність електромагнітних елементів для генерування магнітного поля включає також магнітну котушку, розміщену поблизу вхідної частини каналу для проходження частот у його вигнуту під прямим кутом і коаксіально з вихідною частиною згаданого каналу для проходження частот, і

згадана друга сукупність електромагнітних елементів для генерування магнітного поля включає також пару сілоподібних магнітних котушок, що охоплюють згадану вхідну частину з примиканням до згаданої вихідної частини згаданого каналу для проходження частот безпосередньо перед і за згаданим вигином під прямим кутом.

13. Джерело очищеної вакуумно-дугової плазми за п. 12, яке **відрізняється** тим, що згаданий вакуумно-дуговий пристрій для генерування частот містить перший і другий генератори плазми, що з'єднані із згаданим магнітним пристроєм для розділення частот.

14. Джерело очищеної вакуумно-дугової плазми за п. 13, яке **відрізняється** тим, що згаданий вакуумно-дуговий пристрій для генерування частот включає третій і четвертий вакуумно-дугові генератори плазми, що з'єднані з відповідними частинами згаданого магнітного пристрою для розділення частот.

15. Джерело очищеної вакуумно-дугової плазми за п. 14, яке **відрізняється** тим, що згаданий вакуумно-дуговий пристрій для генерування частот включає катоди з різних матеріалів.

16. Джерело очищеної вакуумно-дугової плазми за п. 12, яке **відрізняється** тим, що включає сукупність вихідних частин згаданого пристрою для розділення частинок, розміщених послідовно і перпендикулярно до вхідної частини згаданого пристрою для розділення частинок.

17. Джерело очищеної вакуумно-дугової плазми за п. 12, яке **відрізняється** тим, що включає додаткову подовжуючу секцію, забезпечену магнітною котушкою і зістикувану з вихідною частиною згаданого магнітного пристрою для розділення частот з боку вихідного отвору.

18. Джерело очищеної вакуумно-дугової плазми за п. 16, яке **відрізняється** тим, що проходження електронів і іонів забезпечується умовою $r_e \ll a < r_i$,

де r_e і r_i - ларморовські радіуси електронів і іонів, відповідно,

a - радіус каналу проходження частот в згаданому пристрої для розділення частот.

19. Джерело очищеної вакуумно-дугової плазми за п. 18, яке **відрізняється** тим, що згадана перша сукупність електромагнітних елементів для генерування магнітного поля в згаданому магнітному пристрої для розділення частинок забезпечує створення магнітного поля, в якому ларморовські радіуси електронів і іонів відповідають умові $r_e \ll a < r_i$.

20. Джерело очищеної вакуумно-дугової плазми, що містить:

вакуумно-дугове джерело електронів, іонів і інших додаткових часток, що генеруються вакуумною дугою;

вхідний елемент трубопроводу, розміщений коаксіально із згаданим вакуумно-дуговим джерелом електронів, іонів і інших додаткових часток, що генеруються вакуумною дугою;

першу електромагнітну котушку вхідного трубопроводу, що охоплює згаданий вхідний елемент трубопроводу і що живиться від джерела електроживлення заданої потужності;

вихідний елемент трубопроводу, розміщений ортогонально і послідовно із згаданим вхідним елементом трубопроводу, у якому електрони і іони перебувають під впливом згаданої першої електромагнітної котушки вхідного трубопроводу;

вихідну електромагнітну котушку, що охоплює згаданий вихідний елемент трубопроводу;

другу електромагнітну котушку вхідного трубопроводу, що охоплює згаданий вхідний елемент трубопроводу з боку його послідовного з'єднання із згаданим вихідним елементом трубопроводу і що живиться від джерела електроживлення заданої потужності,

яке **відрізняється** тим, що містить

першу сідлоподібну магнітну котушку для корекції проходження іонів, що охоплює згаданий вхідний елемент трубопроводу і розміщена безпосередньо перед згаданим вихідним елементом трубопроводу, і частково охоплює згаданий вихідний елемент трубопроводу поруч із згаданим вхідним елементом трубопроводу, і що живиться від джерела електроживлення заданої потужності;

другу сідлоподібну магнітну котушку для корекції проходження іонів, що охоплює згаданий вхідний елемент трубопроводу і розміщена безпосередньо за згаданим вихідним елементом трубопроводу, і частково охоплює згаданий вихідний елемент трубопроводу поруч із згаданим вхідним елементом трубопроводу, і що живиться від джерела електроживлення заданої потужності.

21. Джерело очищеної вакуумно-дугової плазми за п. 20, яке **відрізняється** тим, що включає додаткову магнітну котушку, розміщену коаксіально із

згаданим вихідним елементом трубопроводу на протилежній стороні згаданого вхідного елемента трубопроводу по відношенню до згаданого вихідного елемента трубопроводу і що живиться від джерела електроживлення заданої потужності.

22. Джерело очищеної вакуумно-дугової плазми за п. 20, яке **відрізняється** тим, що включає електрод, розміщений у вхідному трубопроводі за згаданим вихідним елементом трубопроводу і згаданими коректуючими магнітними котушками в безпосередній близькості до згаданої другої електромагнітної котушки вхідного трубопроводу.

23. Джерело очищеної вакуумно-дугової плазми за п. 20, яке **відрізняється** тим, що містить вихідний отвір на кінці згаданого вихідного елемента трубопроводу, віддаленому по відношенню до згаданого вхідного елемента трубопроводу, і в якому, по суті, ортогональне з'єднання вхідного і вихідного елементів трубопроводу утворюють вигин проходу, що виключає пряму видимість між катодом згаданого вакуумно-дугового джерела і згаданим вихідним отвором вихідного трубопроводу.

24. Джерело очищеної вакуумно-дугової плазми за п. 23, яке **відрізняється** тим, що містить подовжуючу частину вихідного трубопроводу, забезпечену котушкою і розміщену між згаданим вихідним елементом трубопроводу і згаданим вихідним отвором.

25. Джерело очищеної вакуумно-дугової плазми за п. 20, яке **відрізняється** тим, що містить закриту екраном щілину в згаданому вхідному елементі трубопроводу навпроти вхідного отвору в згаданий вихідний елемент трубопроводу, і в якому згадана щілина суміщена з областю щілини в розподілі магнітного поля всередині вхідного і вихідного елементів трубопроводу.

26. Джерело очищеної вакуумно-дугової плазми за п. 20, яке **відрізняється** тим, що згаданий джерела електроживлення заданої потужності є джерелами електроживлення постійного струму.

27. Джерело очищеної вакуумно-дугової плазми за п. 20, яке **відрізняється** тим, що згадане вакуумно-дугове джерело електронів, іонів і інших часток живиться або від джерела живлення постійного струму, або від імпульсного джерела живлення.

Даний винахід належить до іонно-плазмової обробки матеріалів і, зокрема, до високоякісних джерел фільтрованої плазми вакуумної дуги що застосовуються для такої обробки.

Вакуумно-дугові методи осадження покриття і поверхневого модифікування матеріалів в останні десятиріччя отримали широке визнання у виробництві інструментів, в машинобудуванні і приладобудуванні. Основні переваги цих процесів зумовлені можливістю формування за їх допомогою

численних видів покриттів і поверхневих шарів, в тому числі і таких, які не можуть бути отримані ніяким іншим відомим способом. Суть і області застосування вакуумно-дугових методів формування покриттів і поверхневого модифікування матеріалів викладені в роботах: [«Principles and Applications of Vacuum Arc Coatings» by R.L. Boxman, IEEE Trans, on Plasma Sci., Vol.17, No 5, October 1980; "Metal Plasma Immersion Ion Implantation and Deposition: a review" by A. Anders,

Surface and Coating Technology, 93 (1997) p.158-167].

Однак, присутність макрочастинок катодного матеріалу в плазмі вакуумної дуги погіршує якість поверхні, що обробляється, і покриттів, що синтезуються. Це перешкоджає більш широкому застосуванню технологій, що розглядаються. Передусім це стосується таких областей як мікроелектроніка, оптика, точна механіка, медицина (хірургічний інструментарій, протезування). Проблеми, пов'язані з фізикою процесів генерування і переносу макрочастинок, а також з методами придушення потоків макрочастинок на шляху їх проходження від катода до поверхні, що обробляється, розглянуті в роботі ["Macroparticle contamination in cathodic arc coating: generation, transport and control" by R.L. Boxman and S. Goldsmith, Surface and Coating Technology, 52 (1992) p.39-50]. Boxman і інш. і кожне з інших посилань, включаючи патентні документи, що ототожнюються з даним описом, включені сюди.

Найбільш ефективно очищення плазми, що генерується катодною плямою вакуумної дуги, досягається за допомогою магнітних фільтрів. Дія цих фільтрів заснована на просторовому розділенні траєкторій заряджених компонентів плазми (іонів) і траєкторій макрочастинок. Між підкладкою (об'єктом, що обробляється) і катодом плазмового генератора, що емітує плазмові потоки з макрочастинами, розміщують деяку перешкоду, що усуває пряму видимість між катодом і підкладкою. Такою перешкодою можуть служити, наприклад, спеціальний екран або стінки зігнутого трубчастого плазмоводу. У такій системі іони, що використовуються для обробки підкладки, за допомогою електромагнітних полів прямують в обхід перешкоди на вихід системи і далі до підкладки, а важкі слабкозаряджені макрочастинки і нейтральні атоми на магнітні і електричні поля не реагують і, рухаючись по прямолінійних траєкторіях, перехоплюються згаданим екраном або стінками плазмоводу.

Відоме джерело вакуумно-дугової плазми, утримуюче циліндричний або конічний катод з робочою торцевою поверхнею, що випаровується катодною плямою дуги, трубчастий циліндричний анод, катодну котушку, яка охоплює катод і служить для створення магнітного поля, що утримує катодну пляму на робочому торці катода, а також анодний соленоїд, що охоплює анод і служить для магнітного фокусування плазмового потоку, що імітується катодною плямою [I.I. Aksenov (Aksenov) et al., US Patent No.4551221, 1985]. У цьому джерелі, внаслідок того, що практично вся іонна компонента прямує фокусуємим магнітним полем на вихід джерела, а макрочастинки, рухаючись переважно в радіальному напрямі, перехоплюються стінками анода, концентрація макрочастинок у вихідному потоку плазми значно знижена в порівнянні з плазовими джерелами, що не мають фокусуємого соленоїда.

Більш ефективно придушення потоку макрочастинок досягається в пристрої, в якому на осі трубчастого анода або плазмоводу розміщений екран, який перехоплює ті макрочастинки, що ру-

хаються вздовж пристрою до його виходу [I.I. Aksenov (Aksenov) et al., US Patent No. 1176599, 1984]. Однак внаслідок великих втрат іонів на згаданому екрані коефіцієнт пропускання корисної (іонної) компоненти плазми в такому пристрої невисокий.

Найбільш широкого розповсюдження у виробничій практиці набули вакуумно-дугові джерела фільтрованої плазми, в яких очищення ерозійної плазми від макрочастинок здійснюється при проходженні її уздовж криволінійного плазмоводу [I.I. Aksenov et al., "Transport of plasma stream in a curvilinear plasma-optics system", Soviet Journal of Plasma Physics, 4 (4), 1978, p.425-428]. Заряджені частинки - електрони і іони - в таких пристроях транспортуються уздовж плазмоводу магнітним полем котушок, розміщених рівномірно по довжині плазмоводу, а важкі слабкозаряджені макрочастинки на магнітні і електричні поля не реагують і, рухаючись за інерцією по прямим траєкторіях, неминує стикаються зі стінками плазмоведучого каналу. Внаслідок того, що значна кількість макрочастинок при зіткненні зі стінкою не прилипає до неї і не повністю втрачає свою кінетичну енергію навіть після декількох таких зіткнень, помітна кількість макрочастинок попадає на вихід плазмоводу і на підкладку. Кількість таких рикошетуючих макрочастинок на виході плазмоводу істотно зменшується, коли на стінках плазмоводу розміщені перехоплюючі екрани, наприклад, у вигляді системи плоских ребер. Система таких екранів служить пасткою макрочастинок.

Ефективність очищення плазми від макрочастинок криволінійним магнітним фільтром може бути підвищена шляхом видовження плазмоведучого каналу, зменшення його ширини і/або збільшення сумарного кута вигину цього каналу [Xu Shi et al., "Filtered Cathodic Arc Source", Int. Application No. PCT/GB/00389, Int. Pub. No. WO 96/26531; S.Anders et al, "S-shaped Magnetic Macroparticle Filter for Cathodic Arc Deposition", Proc. XVIIth Int. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, Berkely, California, July 21-26, 1996, p.904]. Але при цьому неодмінно зростають втрати іонної компоненти плазми, її потік на виході дуже слабшає, продуктивність системи знижується, а складність і, відповідно, вартість її зростає. У результаті, можливість застосування таких систем у виробничій практиці вельми обмежена.

Відомі спроби підвищити ефективність фільтрів з криволінійними плазмоводами і спростити їх конструкцію мінімізацією довжини і кута вигину плазмоведучого каналу при відносно великій площі поперечного перетину [V.I. Gorokhovskiy, US Patent No. 5435900, 1995], а також шляхом застосування найпростішої магнітної системи у вигляді двох соленоїдних котушок, що охоплюють відповідно два прямих трубчастих плазмоводи, що приєднані під 45° один до іншого [S. Falabella et al., US Patent No. 5279723, 1994], до бажаного результату не призвели. Значне конструктивне спрощення системи не супроводжується адекватним підвищенням її ефективності, тому що спрощення магнітної системи погіршує транспортуючі якості магнітного поля, в якому з'являються ділянки з

великими подовжніми і поперечними градієнтами (магнітні «дзеркала»), що утрудняє проходження плазми вдовж такого поля. Іншим серйозним негативним результатом згаданих спрощень є зниження фільтруючих якостей спрощених систем.

Відоме також вакуумно-дугове джерело плазми, в якому містяться циліндричний катод з торцевою робочою поверхнею, коаксіальний з катодом трубчастий анод, електроізолюваний від анода плазмовід, який створює спільно з анодом криволінійний зігнений під 45° плазмоведучий канал, і електромагнітні котушки, що охоплюють катод, анод і плазмовід і розміщені вздовж всього плазмоведучого каналу [P.J. Martin et al., US Patent No. 5433836, 1995]. Невеликий кут вигину при рівномірно розподіленому вздовж каналу магнітному полі зумовлює задовільну ефективність проходження іонної компоненти плазми через фільтруючий канал: вихідний іонний потік становить 2,5A при струмі дуги 100A. Подальше підвищення ефективності обмежується втратами іонів на стінках внаслідок зміщення плазмового потоку в результаті відцентрового і градієнтного дрейфів. Цим явищем неодмінно супроводжується проходження плазми уздовж криволінійного магнітного поля. Таким чином, основна частка втрат плазми припадає на криволінійну частину плазмоведучого каналу.

Часткова компенсація негативного впливу згаданих дрейфів на проходження плазми вздовж фільтруючого плазмоводу досягається застосуванням в фільтрі додаткових електромагнітних котушок, що розміщуються з випуклої сторони зігненої частини плазмоводу [Kim et al., US Patent No.6026763] або електроізолюваних додаткових електродів у вигляді пластин, що розміщуються всередині плазмоводу, з подачею на них позитивної напруги зміщення від індивідуального джерела живлення [Gorokhovskiy, Патентна заявка США No. US 2002/0007796 A1, 2002]. Однак ці заходи не забезпечують кардинального розв'язання проблеми, але ускладнюють фільтруючу систему і зводять нанівець попередні спроби її спростити.

Крім того, жодне з відомих джерел фільтрованої вакуумно-дугової плазми не забезпечує можливості формування потоку плазми складного складу з рівномірним розподілом концентрації компонентів по перетину шляхом зміщення потоків, що імітуються одночасно двома і більш генераторами. У відомих пристроях [Патентна заявка США No. US 2002/0007796 A1, 2002] транспортування плазми від двох джерел з різними матеріалами катодів здійснюється в одному плазмоводі двома паралельними шляхами, зміщеними відносно один одного в просторі. Внаслідок цього розподіли концентрації катодних матеріалів по перетину сумарного плазмового потоку і, отже, по поверхні підкладки - різні.

Даний винахід дозволяє забезпечити розв'язання кількох проблем, ідентифікованих в обговореннях відомих фільтрованих джерел плазми катодної дуги. Досягнення поліпшеної ефективності плазмового фільтра щодо проходження іонного струму від входу до виходу - окремий аспект винаходу.

Короткий опис винаходу

Даний винаходом забезпечується удосконалення джерела фільтрованої плазми вакуумної дуги для іонно-плазмової обробки матеріалів.

Задачею винаходу є створення джерела з високою якістю фільтрованої плазми вакуумної дуги.

Іншою задачею винаходу є створення джерела з високою якістю фільтрованої плазми вакуумної дуги, в якій плазмовий фільтр працює з поліпшеною ефективністю транспортування іонів.

Ще однією задачею винаходу є створення джерела фільтрованої плазми, що має низькі плазмові втрати при фільтрації.

Задачею винаходу є також створення джерела фільтрованої плазми, що має більш низькі плазмові втрати дрейфу, ніж інші джерела, що використовують тороїдальні фільтри з поворотом на деякий градусів.

Задачею винаходу є також створення джерела фільтрованої плазми, що включає пастку для макрочастинок.

Задачею винаходу є також створення джерела фільтрованої плазми більш корисного для осадження якісних покриттів таких, як зносостійких, антифрикційних, стійких до корозії, стійких до ерозії, оптичних, декоративних, електропровідних і електроізоляційних.

Задачею винаходу є також створення джерела фільтрованої плазми, придатного до застосування для поверхневої модифікації матеріалів шляхом опромінення потоками електронів, металевих і газових іонів.

Задачею винаходу є також створення джерела фільтрованої плазми, що має істотне зменшення плазмових втрат дрейфу у криволінійній частині плазмоводу.

Задачею винаходу є також створення джерела фільтрованої плазми, що має високу ступінь плазмового фільтрування від макрочастинок, емітованих з верхні катоди.

Задачею винаходу є також створення джерела фільтрованої плазми, що забезпечує формування плазмових потоків складної суміші з рівномірним розподілом співвідношення компонент, що генеруються кількома вакуумно-дуговими генераторами плазми з катодами з різних матеріалів.

Задачею винаходу є також створення джерела фільтрованої плазми, що має першу і другу корегувальні котушки, що охоплюють плазмовід.

Задачею винаходу є також створення джерела фільтрованої плазми, яке також застосовується, наприклад, для поверхневої модифікації матеріалів, електронного нагріву, іонної очистки, поверхневого насичення шляхом занурення в плазму і іонної імплантації.

Задачею винаходу є також створення джерела фільтрованої плазми, яке є придатним до застосування в лабораторних і промислових умовах.

Додаткові задачі і ознаки винаходу будуть зрозумілі з подальшого опису формули винаходу і супроводжуючих малюнків.

Ці і інші задачі винаходу вирішуються тим, що джерело очищеної плазми вакуумної дуги складається з:

- катодно-дугового джерела електронів, іонів і інших часток, що генеруються дугою;

- вхідного елемента плазмоводу, розміщеного коаксialно з катодом вакуумно-дугового джерела електронів, іонів і інших часток, що генеруються катодною дугою.

- першої електричної магнітної котушки, розташованої на вході плазмоводу, що оточує вхід плазмоводу і живиться від регульованого джерела постійного струму;

- вихідного елемента плазмоводу розташованого перпендикулярно вхідній частині згаданого плазмоводу з катодно-дуговим джерелом електронів і іонів і згаданою першою електричною магнітною котушкою плазмоводу;

- вихідної електричної магнітної котушки, що оточує згаданий вихідний елемент плазмоводу і живиться джерелом постійного струму з регульованою величиною;

- другої вхідної електричної магнітної котушки, що оточує вхідний елемент згаданого плазмоводу в місцеположенні повороту плазмового потоку у бік згаданого вихідного елемента плазмоводу, і живиться джерелом постійного струму регульованої величини;

- перша сідлоподібна коригуюча магнітна котушка, що розташована навколо вхідного елемента згаданого плазмоводу в місці повороту плазмового потоку, і продовжується на вихідний елемент згаданого плазмоводу, і частково оточує згаданий вихідний елемент плазмоводу, суміжний згаданому вхідному елементу плазмоводу;

- друга сідлоподібна коригуюча магнітна котушка, розташована навколо згаданого вхідного елемента плазмоводу в місці повороту плазмового потоку, що продовжується на вихідний елемент згаданого плазмоводу і частково оточує згаданий вихідний елемент плазмоводу, суміжний згаданому вхідному елементу плазмоводу;

Короткий опис креслень

Вищезазначені задачі і переваги винаходу стануть більш очевидними, при описі переважних його втілень з доданими малюнками, з яких:

Фіг.1 являє собою схематичне креслення джерела фільтрованої вакуумно-дугової плазми, відповідного даному винаходу, з одним генератором плазми і двома увімкнутими зустрічно котушками що виконують функції пристрою для регулювання магнітного поля.

Фіг.2 являє собою трьохмірне зображення джерела плазми за Фіг.1.

На Фіг.3 показаний розподіл магнітних силових ліній в плазмоведучому каналі джерела плазми відомого типу з L-подібним плазмоводом.

На Фіг.4 показаний розподіл магнітних силових ліній у плазмоведучому каналі джерела плазми у виконанні, схематично зображеному на Фіг.1.

Фіг.5 ілюструє розміщення додаткової магнітної котушки 24 навпроти вихідного плазмоводу джерела плазми за Фіг.1.

Фіг.6а ілюструє розподіл магнітних силових ліній у плазмоводі джерела плазми за Фіг.1, з використанням додаткової магнітної котушки 24 (Фіг.5), двох вхідних магнітних котушок 14 і 15 і двох коригуючих магнітних котушок 17 і 18, включених відповідно до першого варіанту пристрою.

Фіг.6b показує розподіл магнітних ліній у плазмоводі джерела плазми за Фіг.1, з використанням двох вхідних магнітних котушок 14 і 15 і двох коригуючих магнітних котушок 17 і 18 увімкнених згідно у відповідності з другим варіантом пристрою.

Фіг.6с показує розподіл магнітних ліній в плазмоведучому каналі джерела плазми за Фіг.1, коли збуджені тільки дві коригуючі магнітні котушки 17 і 18.

Фіг.6d показує розподіл магнітних ліній в каналі джерела плазми, за Фіг.1, коли збуджена тільки додаткова магнітна котушка 24.

Фіг.6е показує розподіл магнітних ліній в каналі джерела плазми за Фіг.1, коли збуджені додаткова магнітна котушка 24 і дві коригуючі магнітні котушки 17 і 18.

Фіг.6f показує розподіл магнітних ліній в джерелі плазми за Фіг.1, коли збуджені всі магнітні котушки за винятком котушок 17, 18 і 24.

Фіг.6g показує розподіл магнітних ліній в каналі джерела за Фіг.1, коли збуджені всі магнітні котушки за винятком котушок 17, 18 і 24 і струм

збудження магнітної котушки 15 удвічі більше, ніж у разі Фіг.6f.

Фіг.7а показує розміщення щілини вхідного плазмоводу і частину екрана джерела за Фіг.1 в боковій проекції.

Фіг.7b показує Фіг.7а вид зверху.

Фіг.7с являє собою трьохмірне зображення Фіг.7а з розрізом в області щілини і екрана.

Фіг.8 показує схематичне зображення джерела плазми (Фіг.1) з двома плазмовими генераторами.

Фіг.9а являє собою схематичне креслення джерела плазми за Фіг.1 з другим вихідним плазмоводом для формування двох потоків плазми.

Фіг.9b показує джерело за Фіг.9а з другим вхідним генератором плазми.

Фіг.9с показує апарат за Фіг.9а з приєднаним до нього другим джерелом фільтрованої плазми.

Фіг.10 показує плазмове джерело за Фіг.1 з другим джерелом фільтрованої плазми, що використовується як другий плазмовий генератор.

Фіг.11 являє собою схематичне зображення варіанту джерела з чотирма генераторами фільтрованої плазми і спільним плазмоводом.

Фіг.12 ілюструє вплив магнітної котушки 24 на струм іонів в джерелі плазми за Фіг.1.

Фіг.13 ілюструє вплив коригуючих магнітних котушок 17 і 18 на струм іонів джерела плазми за Фіг.1.

Фіг.14 показує вплив позитивного потенціалу плазмоводу на струм іонів на виході джерела плазми за Фіг.1.

Докладний опис

Далі цей винахід описується словесно, в основному без посилань. За первинним словесним описом іде більш детальний опис з посиланнями на креслення.

У цьому винаході джерело фільтрованої вакуумно-дугової плазми містить генератор плазми, який містить витрачаємий катод з робочою поверхнею, що випаровується, яка під впливом катодної плями вакуумної дуги емітує потік плазми катодного матеріалу; трубчастий анод, розміщений навпроти робочої поверхні катода; катодний і анод-

ний соленоїди, що охоплюють катод і анод відповідно. У джерело входять також прямолінійні трубки часті плазмоводи, що створюють криволінійний плазмоведучий канал. Канал має принаймні один вихідний отвір і виключає прямувидимість між цим отвором і катодом генератора. Електроживлення вакуумної дуги і соленоїдів здійснюється від незалежних джерел живлення. Плазмоведучий канал служить для транспортування плазми від генератора плазми до згаданого вихідного отвору і підкладки, що розміщується навпроти останнього, а також для поглинання макрочастинок, що імітуються катодом нарівні з іонами, електронами і нейтральними атомами катодного матеріалу. До складу плазмового фільтра входять також магнітні котушки, що охоплюють згадані плазмоводи і служать для створення магнітного поля, що спрямовує іони і електрони плазми уздовж плазмоведучого каналу до підкладки.

Відповідно до винаходу, до виходу генератора плазми приєднаний вхідний плазмовід, до якого переважно під прямим кутом приєднаний вихідний плазмовід. При цьому порожнини плазмоводів з'єднані між собою отвором в стінці вхідного плазмоводу, а місце стику ділить вхідний плазмовід на дві частини: першу, звернену до анода генератора плазми, і другу, що служить пасткою макрочастинок і розміщену з протилежної сторони стику. Перша частина вхідного плазмоводу і вихідний плазмовід утворюють плазмоведучий канал для транспортування плазми від генератора плазми до вихідного отвору в цьому каналі і до підкладки, що розміщується навпроти вихідного отвору.

На першій і другій частинах вхідного плазмоводу розміщені, відповідно, перший і другий вхідні соленоїди, а на вихідному плазмоводі розміщений вихідний соленоїд. Вихідний соленоїд підключений до джерела живлення так, що струм в його витках створює у вихідному плазмоводі магнітне поле, силові лінії якого є продовженням силових ліній поля першого вхідного соленоїда. Між першим і другим вхідними соленоїдами розміщені котушки для корегування магнітного поля. Котушки корегування розташовані переважно в безпосередній близькості один до одного, і їх частини на вихідній стороні плазмоводу відігнуті назад, щоб охопити вихідний плазмовід по його периметру. Ці коригуючі магнітні котушки підключені до джерел живлення так, що напрям магнітного поля котушки 17 співпадає з напрямом поля котушки 14, а напрям поля котушки 18 співпадає з напрямом поля котушки 15.

Додатковим елементом засобу коректування магнітного поля є додаткова котушка, розміщена у вхідного плазмоводу переважно співосно з вихідним соленоїдом. Розміри поперечного перетину додаткової котушки - не менше діаметра вхідного плазмоводу і не більше його довжини. Необхідну напруженість магнітних полів, що створюються коригуючими котушками і додатковою котушкою краще визначати експериментальним шляхом. Експериментально визначаються також кількість витків в котушках і струми в них, потрібні для забезпечення необхідних полів. Основною функцією згаданих котушок є коректування магнітних полів в

фільтрі для отримання максимального потоку іонів на його виході.

Даний винахід передбачає варіант виконання джерела вакуумно-дугової плазми, в якому котушки підключені до джерела живлення так, що напрям струмів у витках першого вхідного соленоїда і першої корегуючої котушки протилежний напрямку струмів у витках другого вхідного соленоїда і другої коригуючої котушки. У такому варіанті джерела плазми на стику плазмоводів є область з мінімумом напруженості магнітного поля. Магнітні силові лінії, підходячи до цієї області з двох протилежних сторін, розходяться тут подібно віялу, утворюючи вузьку кільцеву магнітну щілину, що розширюється зі сторони вихідного плазмоводу. Плазма, та, що поступає в область з даною конфігурацією магнітних полів, покидає її через це розширення. Інша, більш вузька частина щілини і осьовий канал у бік другої секції вхідного плазмоводу відбивають плазму на зразок магнітних дзеркал. Втрати плазми, зумовлені витокі її через ці «дзеркала», в значній мірі компенсуються відсутністю дрейфових (градієнтних і відцентрових) втрат в даній системі. Більш низька енергія іонів у вихідному потоку плазми є перевагою цього варіанту джерела у випадках, коли джерело використовується для обробки матеріалів, що мають низький поріг енергії модифікації, наприклад при нанесенні покриттів на термочутливі матеріали.

З метою підвищення ефективності проходження іонів плазми через плазмоведучий канал джерела, що заявляється, в торці другої секції вхідного плазмоводу доцільно розмістити ізолюваний електрод, наприклад, у вигляді пластини, що перекриває центральну частину торця плазмоводу. Негативний плаваючий потенціал електрода являє собою бар'єр для витоку електронів з плазмоведучої системи. Це сприяє збільшенню просторового заряду електронів, підвищенню густини потоку іонів в плазмоведучому каналі і більш ефективного їх проходження до вихідного отвору системи.

Для забезпечення можливості формування потоку фільтрованої плазми, що містить іони двох різних матеріалів, і підвищення інтенсивності вихідного потоку плазми в джерелі плазми за винаходом до торця другої частини вхідного плазмоводу може бути пристикований другий генератор плазми. У залежності від конкретної технологічної задачі катоди генераторів плазми можуть бути виконані з одного і того ж матеріалу, або з різних матеріалів. При формуванні потоку двокомпонентної плазми співвідношення між концентраціями компонентів плазми визначається співвідношенням розрядних струмів в генераторах плазми. Рівномірний розподіл відносної концентрації кожної складової потоку плазми на виході системи, визначається інтенсивним перемішуванням первинних потоків, що зустрічаються в області мінімуму магнітного поля, згаданого вище.

З метою підвищення ефективності проходження плазми через фільтруючий плазмоведучий канал джерела плазми в будь-якому з розглянутих вище виконань, в стінці вхідного плазмоводу між першою і другою його частинами є поперечна щілина, закрита ізолюваним від плазмоводу екра-

ном. Положення цієї щільності співпадає з положенням магнітної щільності в структурі магнітних полів, що утворюються першим і другим вхідними котушками. Негативний плаваючий потенціал електрода сприяє збільшенню просторового заряду електронів, підвищенню густини потоку іонів в плазмове-дучому каналі і більш ефективному їх проходженню до вихідного отвору системи.

Даний винахід передбачає також варіант джерела фільтрованої плазми в будь-якому з розглянутих вище виконань, в якому міститься додаткова котушка, розміщена у згаданого вхідного плазмоводу навпроти вихідного плазмоводу співосно з останнім. Вказана котушка підключена до джерела живлення так, що магнітне поле, що створюється нею, спрямоване проти поля, що створюється вихідним соленоїдом. При цьому досягається симетрування структури магнітного поля між зустрічно включеними вхідними соленоїдами за рахунок посилення його напруженості в магнітній щільності навпроти вихідного соленоїда і зміщення області мінімуму поля до центра системи. У свою чергу це знижує втрати плазми за рахунок відходу її на задню стінку вхідного плазмоводу (навпроти вихідного плазмоводу) і, отже, підвищує ефективність транспортування плазми до виходу системи. Позитивний ефект додаткової котушки досягається при розмірах її апертури не менше за діаметр вхідного плазмоводу і не більш за його довжину.

Ще одне виконання джерела фільтрованої вакуумно-дугової плазми відрізняється тим, що фільтр джерела містить додатковий плазмовід, приєднаний до вхідного плазмоводу навпроти вихідного плазмоводу співосно з останнім. При цьому сегменти згаданих першої і другої котушок зі сторони додаткового плазмоводу відігнуті в протилежні сторони ортогонально плазмоводу, так що кожний з них огинає додатковий плазмовід по його периметру. Додатковий плазмовід, забезпечений додатковим соленоїдом, який підключений до джерела живлення так, що магнітне поле, що створюється ним, спрямоване проти поля, що створюється вихідним соленоїдом. У виконанні, що розглядається, джерело за винаходом забезпечує можливість формування двох потоків фільтрованої плазми, спрямованих в протилежні боки. Для забезпечення можливості формування потоку фільтрованої вакуумно-дугової плазми складного, наприклад, двохкомпонентного складу до згаданого додаткового плазмоводу, згідно з винаходом, пристиковується джерело фільтрованої плазми в одному з розглянутих вище виконань.

Згідно з винаходом, ще одне виконання джерела фільтрованої вакуумно-дугової плазми з одним або двома генераторами плазми, приєднаним відповідно до одного або обох торців вхідного плазмоводу, відрізняється тим, що в ньому у якості згаданих генераторів плазми використані будь-які з розглянутих вище виконань джерела фільтрованої плазми. У такому виконанні винахід поєднує наступні переваги: можливість формувати фільтровані потоки вакуумно-дугової плазми, що містять декілька компонентів; підвищену ступінь очищення потоку, що формується, від макрочастинок; однорідний розподіл співвідношення концентрацій

компонент, що входять до складу плазми, по перетину потоку, що формується; підвищена інтенсивність потоку фільтрованої плазми, що формується.

Детальний опис

Відповідно до винаходу зображене на Фіг.1 джерело фільтрованої вакуумно-дугової плазми містить генератор плазми 1 і плазмовий фільтр 2. Генератор плазми 1 містить циліндричний катод 3, що витрачається, з торцевою поверхнею 3', що випаровується, (надалі - робоча поверхня), трубчастий анод 4, розміщений навпроти робочої поверхні 3' катода 3, а також катодну 5 і анодну 6 котушки, що охоплюють катод 3 і анод 4 відповідно. До вихідного торця 7 анода 4 через ізолятор 32 ізольованими болтами 33 приєднаний вхідний плазмовід 8, до якого приєднаний вихідний плазмовід 9.

Порожнини плазмоводів з'єднані між собою отвором 10 в стінці вхідного плазмоводу 8. Отвір 10 служить як вхідний отвір плазмоводу 9. Місце стику плазмоводів ділить вхідний плазмовід 8 на дві частини: першу частину 11, звернену до анода 4, і другу частину 12 - з протилежної сторони стику. Перша частина 11 вхідного плазмоводу і вихідний плазмовід 9 утворюють плазмове-дучий канал з вихідним отвором 13, навпроти якого звичайно розміщується підкладка 34 - об'єкт, що обробляється. На першій 11 і другій 12 частинах вхідного плазмоводу 8 розміщені перша 14 і друга 15 магнітні котушки відповідно. На вихідному плазмоводі 9 розміщена вихідна магнітна котушка 16. Між першою 14 і другою 15 вхідними котушками розміщений засіб регулювання магнітного поля, виконаний у вигляді першої 17 і другої 18 котушок, що розміщені майже впритул одна до одної і кожна охоплює вхідний плазмовід, приймаючи форму, яку ми називаємо "сідлоподібною".

Сегменти першої і другої коригуючих магнітних котушок 17 і 18, що охоплюють по периметру плазмовід 9, відігнуті в протилежні сторони (17' і 18') і звичайно розташовуються ортогонально до плазмоводу 9. Сегменти 17' і 18', доповнюють магнітні котушки 17 і 18 з подібною сідлу конфігурацією, що в результаті додає котушкам складну зігнену форму, яка зображена на Фіг.2. У протилежному вхідного кінця плазмоводу 8, закритого кришкою 19, знаходиться електрод 20, який електрично ізольований від плазмоводу 8 і переважно підключений до негативного виводу джерела напруги 37. Джерело 37 може використовуватися в типовому діапазоні від 5 до 40 вольт. Вихідний фланець 13 плазмоводу пов'язаний з вакуумною камерою 39 з розміщеною в ній підкладкою 34. Розміри (довжина і діаметри) анода 4 і плазмоводів 8 і 9 вибрані так, щоб виключити пряму видимість між робочою поверхнею 3' катода 3 і вихідним отвором 13 плазмове-дучого каналу. Плазмоводи 8 і 9 з'єднані герметично з анодом 4 і вакуумною камерою 39 відповідно через ізолятори, які на Фіг.1 не показані. На стінках плазмоводів 8 і 9 розміщені поперечні пластини (ребра) 21, призначені для придушення рикошетування макрочастинок від стінок плазмоводів. При необхідності фільтр 2 може бути обладнаний подовжуючою секцією 9а вихідного плазмоводу з соленоїдом 16а. Подовжуюча секція

9а корисна, коли вихід плазмоводу з великої відстані повинен бути наближений до вакуумної камери 39 і підкладки 34 або має бути введений всередину вакуумної камери 39.

Взаємне розташування основних складових частин описаного джерела фільтрованої вакуумно-дугової плазми додатково пояснюється трьохмірним зображенням його зовнішнього вигляду, поданим на Фіг.2, 3 цього креслення, зокрема, стає більш зрозумілою форма котушок 17 і 18. Вид коригуючих котушок 17 і 18 і примикаючих до них центральних частин джерела додатково пояснюється також кресленням на Фіг.7с. Додаткова подовжуюча секція 9а на трьохмірному зображенні не показана.

Зображене на Фіг.1 джерело фільтрованої плазми вакуумної дуги працює таким чином. При заданому вакуумі в камері (в межах від 10^{-4} до 10 Па) і при включених джерелах живлення дуги і магнітних котушок 35 і 38 за допомогою запалювального пристрою (не показаний на малюнку) запалюють дуговий розряд між катодом 3 і анодом 4. При цьому на робочій поверхні катода 3' виникає катодна пляма, що хаотично переміщується і утримується на поверхні магнітним полем котушки 5. Катодна пляма емітує плазмовий потік, який поширюється в порожнину анода 4, де в присутності магнітного поля, що створюється котушкою 6, плазма фокусується і прямує до плазмоводів 8 і 9. Типові значення струму катодної дуги лежать в діапазоні від 50 до 200 А, при напрузі від 25 до 50 В. Значна енергія розсіюється на поверхні катода 3' і анода 4. Практично ця теплова енергія переважно відводиться, наприклад, водяним охолодженням. Система такого охолодження добре відома в літературі і тому на Фіг.1 і інших малюнках не показана.

Транспортування плазми від катода 3 до вихідного торця 13 джерела за Фіг.1 забезпечується наступним чином. За допомогою котушок, що охоплюють анод і плазмоводи, в плазмоведучому каналі створюється магнітне поле, напругу якого вибирають так, щоб виконувалася умова $r_e \ll \alpha < r_i$ (r_e і r_i - ларморовські радіуси електронів і іонів відповідно, α - поперечний розмір плазмоведучого каналу).

Природа ларморовського радіусу і рух по спіралі заряджених часток, включаючи електрони і іони, в магнітному полі відомі в науці і описані, наприклад, в ["Физическом энциклопедическом словаре", М., "Советская энциклопедия", 1984, стор.352 - 536 і в монографії Д. Роуза і М. Кларка "Плазма і керований термоядерний синтез", виданому спільно Технологічним Інститутом Штату Массачусетс і видавництвом Джона Уїлей з синами, Нью-Йорк - Лондон]. У цьому ларморовському русі частинка переміщується по магнітній силовій лінії з подовжнім компонентом швидкості $V_{||}$, обертаючись одночасно навколо магнітної лінії з ларморовською частотою. Для електронів і іонів, відповідно, ці частоти такі:

$$\omega_e = eB/m_e \quad \omega_i = ZeB/m_i$$

Радіуси кругових обертів по спіралі (ларморовські радіуси) для електронів і іонів, відповідно:

$$r_e = eV_{e\perp}/m_e B \quad r_i = ZeV_{i\perp}/m_i B$$

Тут e - заряд електрона, Z - кратність заряду іона, m_e і m_i - маса електрона і маса іона, $V_{e\perp}$ та $V_{i\perp}$ - поперечні швидкості електрона і іона, B - індукція магнітного поля, тобто, магнітного поля, що створюється магнітними котушками у винаході, що пропонується.

У даному винаході магнітне поле відповідає умовам $r_e \ll \alpha < r_i$ або

$$\alpha \gg \frac{eV_{e\perp}}{m_e B} \quad (1)$$

$$\alpha < \frac{ZeV_{i\perp}}{m_i B} \quad (2)$$

При виконанні умови (1) рух електронів цілком контролюється магнітним полем. У такому випадку, кажуть, що електрони замагнічені. З іншого боку, напруженість магнітного поля відповідає рівнянню (2). Це означає, що магнітне поле такої інтенсивності в системі, що розглядається, не впливає на рух іонів: іони не намагнічені. У зв'язку з дуже великою масою іонів в порівнянні з масою електронів (наприклад, для Ti^+ як катодного матеріалу: $m_i \approx 88000m_e$). Згадані умови є цілком здійсненними при порівняно невисокій інтенсивності магнітних полів і обмежених розмірах системи.

У даному винаході, для найбільш практичних випадків радіус плазмового потоку - а, розташовується між 10 і 100 міліметрами. Магнітне поле B при виконанні відношень (1) і (2) в таких випадках становить величину приблизно від 5 до 50 мТл. Якщо B буде зроблено настільки низьким, що відношення (1) не буде виконане, то транспортна якість фільтра знизиться через збільшені втрати електронів на стінках плазмоводу. Якщо магнітне поле буде настільки високим, що відношення (2) не буде виконане, то інжектувати плазму в фільтр буде майже неможливо через відбиття від сильно-го магнітного дзеркала, яке з'являється на вході плазмоводу. У цьому випадку електрони замагнічені а іони - ні. У такій частково замагніченій плазмі електрони рухаються по спіралі з радіусом r_e вздовж ліній магнітного поля і не можуть рухатися упоперек поля: провідність плазми висока уздовж поля і дуже низька упоперек поля. У зв'язку з цим лінії магнітного поля в системі, що розглядається, є еквіпотенціалами. Вони набувають потенціал тих електродів, з якими перетинаються. Так, пучок магнітних силових ліній, що перетинають робочий торець катода, мають потенціал цього електрода (з точністю до катодного падіння).

Електрони, що народжуються на катоді, рухаються уздовж цього пучка ліній, а іони, що утримуються електричним полем електронів, рухаються з ними. Таким чином зберігається умова квазінейтральності плазми. Оскільки ізолювання від анода і камери плазмоводи, як правило, заземлені, стінки плазмоводів заряджаються позитивно тією частиною високоенергетичних іонів, які не можуть бути утримані просторовим зарядом електронів, що ведуться згаданим пучком магнітних ліній. У цьому випадку стінки плазмоводів перебувають під позитивним плаваючим потенціалом. Виникає при цьому радіальне електричне поле між транспортуючим пучком магнітних ліній і пози-

тивно зарядженими стінками плазмоведучого каналу сприяє транспортуванню іонного компонента плазми. Як показує досвід, для підвищення ефективності транспортування плазми на стінки плазмоводів потрібно подавати примусовий позитивний потенціал зміщення від стороннього джерела. Таке джерело 36 показане на Фіг.1. Типовий діапазон напруги джерела - від 5 до 15В. З таким потенціалом внаслідок гальмування іонів радіальним електричним полем зникають втрати плазми на стінках плазмоведучого каналу.

Крім дифузії упоперек магнітного поля до втрат плазми призводить також її поперечне зміщення внаслідок так званих відцентрового і градієнтного дрейфів. У неоднорідному криволінійному магнітному полі частки плазми внаслідок наявності поперечної компоненти швидкості дрейфують перпендикулярно до $\text{grad } H$, тобто по нормалі до плоскості вигину лінії магнітного поля, уздовж якої частки рухалися спочатку. Цей дрейф спричиняє поляризацію плазми внаслідок того, що частки різного знаку дрейфують в протилежні сторони. Під впливом схрещених електричного поля поляризації і магнітного поля плазма, як ціле, зміщається у бік опуклості зігнутої силової лінії магнітного поля. Це так званий градієнтний дрейф плазми. У традиційних системах, в яких магнітні лінії зігнені в одну сторону, таке зміщення плазми призводить до зіткнення плазмового потоку зі стінкою плазмоводу (із зовнішньою по відношенню до центра кривизни, тобто з боку опуклості магнітних ліній). Частина плазмового потоку при такому зіткненні втрачається на стінці.

На відміну від відомих систем, в джерелі плазми за винаходом магнітні лінії в області повороту плазмового потоку, тобто між першою і другою вхідними котушками 14 і 15, розходяться вільно у всі сторони, так що центри їх кривизни рівномірно розміщені по колах, що охоплюють вхідний плазмовід 8 по обох сторонах магнітної щілини 23 на Фіг.4. Внаслідок цього градієнтний дрейф плазми, спрямований у бік опуклості магнітних ліній, призводить до зміщення всіх частин плазмового потоку всередину плазмоведучого каналу, а не до його стінок. Таким чином виключаються втрати обумовлені градієнтним дрейфом. Розглянутий градієнтний дрейф плазми, як вже зазначалося, є результатом наявності поперечної складової швидкості заряджених часток плазми (іонів і електронів). Подовжня ж компонента швидкості цих часток в криволінійному магнітному полі призводить до розділення зарядів і до поляризації плазми в плоскості вигину магнітних ліній; намагнічені електрони рухаються по спіралях уздовж магнітних силових ліній, а важкі немагнічені іони, рухаючись по прямих траєкторіях, зміщаються під дією відцентрової сили G в напрямі опуклості магнітної лінії.

У винаході, що пропонується, електричне поле поляризації спрямоване до центра кривизни даної магнітної силової лінії (проти вектора радіуса кривизни R) і спричиняє зміщення плазми як цілого в напрямі $[H \times G]$ або $[H \times R]$. Це так званий відцентровий дрейф. У відомих криволінійних фільтрах, в яких магнітні поля зігнені в єдиному напрямі, наприклад, у вигляді частки тора, плазма внаслідок

такого дрейфу зміщається до однієї з бокових стінок плазмоводу (в залежності від напрямку H). Торкаючись стінки, частина плазмового потоку втрачається в таких фільтрах. У пристрої за винаходом зміщення плазми як цілого відбувається не по прямій, як у відомих пристроях, а по дузі навколо приосової зони плазмоводу, не зачіпаючи стінок останнього. Таким чином, в пристрої за винаходом мінімізуються також і втрати за рахунок відцентровий дрейфу плазми.

На Фіг.3 показаний хід магнітних силових ліній у варіанті включення котушок 14 і 16, відповідному відомому L-подібному фільтру з двома котушками, розміщеними під прямим кутом один до одного. Стрілками 40 і 41 на Фіг.3 показаний напрям градієнтного дрейфу плазми: її зміщення відбувається до зовнішньої (по відношенню до центра кривизни магнітних ліній) стінки плазмоведучого каналу. Відцентровий дрейф тут направлений перпендикулярно до плоскості креслення, тобто на одну з бокових стінок плазмоводу в залежності від напрямку магнітного поля.

На Фіг.4 показаний розподіл магнітного поля в джерелі плазми за винаходом. На відміну від Фіг.3, тут між соленоїдами 14, 15 і 16 є зона 22 з нульовим магнітним полем і з магнітною щілиною 23. У зоні 22 магнітне поле збільшується з відстанню від центра зони. Стрілками 45, 46, 47 і 48 на Фіг.4 показано напрям градієнтного дрейфу. Відцентровий дрейф тут проявляється як зміщення плазмового потоку по дузі (на кресленні не показаний) навколо зони 22 в плоскості, нормальній до плоскості креслення. Таким чином, в ситуації, відповідній фігурі 4, контакт плазмового потоку зі стінками плазмоводу в процесі відцентрового і градієнтного дрейфу не виникає.

Що ж до макрочастинок, що генеруються дугою під час роботи джерела по Фіг.1, то їх видалення з плазмового потоку здійснюється таким чином. Передусім, потрібно зазначити, що основна частина потоку макрочастинок, що рухаються переважно уздовж вхідного плазмоводу 8, уловлюється другою секцією 12 цього плазмоводу. Секція 12 разом з кришкою 19 і електродом 20, таким чином, служить збірником-настою катодного матеріалу, що покидає катод 3 у вигляді макрочастинок і нейтральних атомів. Разом з тим, частина макрочастинок попадає і у вихідний плазмовід 9. Однак, оскільки між катодом 3 і вихідним торцем 13 пряма видимість відсутня, макрочастинок, що летять з катода по прямих траєкторіях, не можуть попасти на вихід системи без зіткнень зі стінками.

При такому зіткненні макрочастинка або прилипає до стінки, або відскакує, якщо вона тверда. При максимальних початкових швидкостях макрочастинок повинна зазнати кількох частково пружних зіткнень із стінками перш ніж припиниться її поступальний рух. Щоб запобігти можливості попадання макрочастинок на вихід системи за рахунок багаторазового відбиття від стінок плазмоводів, на їх поверхні розміщена система поперечних ребер у вигляді пластин 21 на Фіг.1. На інших кресленнях ці пластини не показані для придання кресленням простоти і ясності.

На Фіг.5 схематично зображене джерело фільтрованої вакуумно-дугової плазми за винаходом, що передбачає наявність додаткової котушки 24, розміщеної у вхідного плазмоводу 8 навпроти вихідного плазмоводу 9 співосно з останнім. Позитивний ефект додаткової котушки досягається при розмірах її апертури не менше за діаметр вхідного плазмоводу 8 і не більш його довжини. Додаткова котушка 24 живиться таким чином, що магнітне поле, що створюється нею (див. Фіг.6а), спрямовано проти магнітного поля у вихідному соленоїді 16 і співпадає у напрямі з полем в магнітній щілині 23. Як випливає з Фіг.6а, поле в магнітній щілині 23 при цьому посилюється (в порівнянні з варіантом за Фіг.4), а розподіл поля всередині плазмоводу стає більш симетричним. Область з мінімумом поля 22 зміщується до центра системи. При цьому практично весь потік плазми 25, що генерується робочою поверхнею 3' катода 3, попадає в зону 22. Ця область, як вже відзначалося, характеризується нульовою напруженістю магнітного поля в центрі і зростаючою напруженістю поля по мірі віддалення від центра. Штриховка в зоні 22 і інших місцях Фіг.6а і на Фіг.6b, Фіг.6f і Фіг.6g означає магнітні потоки і указує місцеположення плазмового потоку в плазмовому фільтрі 2.

Така конфігурація полів в зоні 22 відома як гострокутова магнітоелектрична пастка. Стік електронів в цій пастці можливий по осевих каналах уздовж плазмоводів 11, 12 і 9, і через магнітну щілину 23. Напруженість полів вибирається такою, що в осевих каналах вздовж плазмоводів 11 і 12, а також в щілині 23 вони утворюють магнітні дзеркала, перешкоджаючи проходженню електронів через них. Покинути пастку може тільки незначна частина електронів, що рухаються безпосередньо уздовж центральних ліній каналів в плазмоводах 11, 12 і щілині 23. Єдиний канал, куди електрони можуть йти безперешкодно вздовж магнітних силових ліній, це ділянка магнітної щілини з послабленим полем 50 у вихідному плазмоводі 9. Просторовий заряд електронів в пастці 22 утворює потенційну яму для іонів. Зазнавши кількох відбиттів від стінок потенційної ями і загубивши при цьому частину кінетичної енергії, іони попадають в канал вихідного плазмовода 9 і разом з електронами у вигляді потоку квазінейтральної плазми просуваються до виходу 13 з системи. Знижена енергія іонів вихідного потоку плазми є перевагою виконання джерела, що розглядається, в тих випадках, коли передбачається його використання для обробки матеріалів з низьким енергетичним порогом модифікування їх службових характеристик, наприклад, в нанесенні захисного покриття на магнітний шар комп'ютерних дисків пам'яті.

Для кращого розуміння впливу котушок 17, 18 і 24 при їх взаємодії на отримання потрібної конфігурації магнітного потоку і каналу 50, показаного на Фіг.6а для винаходу по Фіг.1, в даний документ включені додаткові креслення на фігурах від 6с до 6g. Ці креслення ілюструють результати дії декількох комбінацій живлення згаданих котушок. Тому припускається, що ці додаткові креслення допоможуть оцінити внесок, наприклад, котушок 17 і 18 в створення необхідного розподілу магнітних полів

в плазмоведучому каналі. Ідентифікація умов кожної з аномальних комбінацій включення котушок для малюнків від 6с до 6g приведені вище в розділі «Короткий опис креслень». Знаки + біля котушок на фігурах від 6с до 6g вказують на відносний напрям електричних струмів в котушках, причому напрям намотування витків ігнорується. Так, наприклад, два знаки +, позначені цифрами 55 і 57, і що розташовані у протилежних сторін котушок 17 і 18 на Фіг.6с, вказують на протилежний напрям струмів в цих котушках і, отже, відповідний відносний (назустріч один одному) напрям магнітних потоків, що створюються котушками 17 і 18, що є внеском в результуючий потік, показаний на Фіг.6а.

У цьому документі застосовуються така термінологія як «електричний струм, що забезпечує зустрічний напрям магнітного потоку» і інші подібні язикові звороти, які потрібно розуміти як вказуючі струм, що тече у витках обмотки магнітної котушки незалежно від напрямку намотування витків і полярності напруги електричного живлення. Магнітний потік у напрямі, відповідному полю, що існує у полюса «Північ», може створюватися, наприклад, внаслідок підключення на початок обмотки позитивної клеми джерела живлення при намотці витків за годинниковою стрілкою, або при підключенні негативної клеми на початок обмотки, навитої проти годинникової стрілки, так що в обох випадках забезпечується «електричний струм, що генерує магнітне поле того ж самого напрямку».

Стрілкою 48 на Фіг.6с показаний напрям руху плазми, що покинула поверхню 3' катода і що перебуває під впливом магнітних полів, створених тільки котушками 17 і 18. Стрілкою 49 на Фіг.6d позначений шлях плазми, що рухається від поверхні 3' катода під впливом магнітного поля, створеного тільки котушкою 24. При одночасному включенні котушок 17, 18 і 24 формується магнітне поле, конфігурація якого показана на Фіг.6е. Стрілками 51 показаний напрям руху плазми, що покинула поверхню 3' катода і відбилася від області магнітних ліній, що розходяться, діючої як «магнітне дзеркало».

Пучок плазми, що покинула поверхню 3' катода в магнітному полі, створеному одночасно включеними котушками 5, 6, 14, 15, 16 і 16(а) (при включених котушках 17, 18 і 24), показаний на кресленні Фіг.6f. Три стрілки 53 на Фіг.6f означають проходження плазми в «корисному» напрямі в канал 50, а також в небажаних напрямках на бічні стінки вхідного плазмовода і через магнітний канал до стінок другої секції вхідного плазмовода (пастки макрочастинок). У варіанті включення котушок, що розглядається, площа контакту плазми зі стінками вхідного плазмовода і перетин магнітного каналу у другій секції вхідного плазмовода, а отже і відповідні втрати плазми зменшуються при аномальному (наприклад, двократному) збільшенні струму в котушці 15. Але при цьому виникає потік додаткових втрат у верхнього краю вхідного отвору вихідного плазмовода (див. стрілки 59 на Фіг.6g). Таким чином, з приведених міркувань витікає, що найкращим варіантом конфігурації магнітних полів є той, який відповідає Фіг.6а, і, отже, найкращий результат транспортування плазми

досягається у випадку, відповідному винаходу, тобто коли використовуються всі котушки пристрою по Фіг.1 або Фіг.5.

Показаний на Фіг.1 і Фіг.5 електрод 20 розміщений у торця 19 плазмоводу 12 і перекриває його центральну частину. Електрони, що надходять на цей електрод із зони 22, внаслідок витoku уздовж осевого магнітного каналу у плазмоводі 12, заряджають його негативно. Бажано підтримувати такий потенціал від додаткового джерела живлення 37. Це помітно послабляє витік електронів на плазмівід 8, що сприяє збереженню і деякому збільшенню негативного просторового заряду електронів всередині плазмоводів. У свою чергу, це сприяє підвищенню густині іонів у плазмоведучому каналі і, отже, більш ефективному транспортуванню їх до вихідного торця 13 або 13' системи.

Щоб запобігти плазмовим втратам, спричиненим витокom деякої частини електронів із зони 22 через магнітну щілину 23 на стінку плазмовода 8, і таким чином підвищити ефективність проходження плазми крізь плазмоведучий канал джерела за винаходом, доцільно виконати щілину 26, показану на Фіг.7а і на Фіг.7с, в стінці вхідного плазмоводу 8 між першою 11 і другою 12 його частинами перед виходом 10. Щілина 26 має бути закрита ззовні екраном 27. Екран електрично ізольований від плазмоводу 8. Положення цієї щілини 26 в стінці плазмоводу 8 повинно співпадати з положенням магнітної щілини 23 в структурі полів, що створюються соляноідами 14, 15 і котушками 17, 18 (Фіг.6а). Електрони, що надходять із зони 22 на екран 27 через щілину 26 надають йому негативного плаваючого потенціалу. Цей потенціал є бар'єром, перешкоджаючим подальшому витoku електронів з плазмоведучого каналу 8 і 9, що сприяє збереженню і деякому збільшенню негативного просторового заряду електронів всередині згаданого каналу. Це, в свою чергу, сприяє підвищенню густини іонів в каналі і більш ефективному їх проходженню до виходу 13 системи.

Додаткові варіанти виконання

На Фіг.8 схематично зображений варіант джерела фільтрованої вакуумно-дугової плазми за винаходом з двома однаковими генераторами плазми 1 і 1(а), котрі пристиковані до протилежних торців вхідного плазмоводу фільтра 2. В залежності від технологічної задачі в генераторах 1 і 1(а) застосовують катоди 3 і 3(а) з одного і того ж матеріалу або з різних матеріалів. У першому випадку при одночасній роботі обох генераторів на виході 13 джерела по Фіг.8 формується потік плазми одного матеріалу приблизно подвоєної інтенсивності. У другому випадку джерело випускає потік плазми, до складу якого входять матеріали обох катодів. Співвідношення між концентраціями цих матеріалів визначається співвідношенням розрядних струмів дуги в генераторах 1 і 1(а). Внаслідок перемішування первинних потоків плазми, що зустрічаються в області мінімуму магнітного поля, розподіл відносної концентрації катодних матеріалів в результуючому потоці на виході 13 или 13' системи стає рівномірним. Напрямок руху потоків плазми на кресленні показаний стрілками 28 на Фіг.8.

У фільтрі поданого на Фіг.9(а) варіанту виконання джерела фільтрованої вакуумно-дугової плазми за даним винаходом міститься додатковий плазмівід 29, що пристикований до вхідного плазмоводу 8 навпроти вихідного плазмоводу 9 співосно з останнім. При цьому сегменти 17(а) і 18(а) котушок 17 і 18 зі сторони додаткового плазмовода 29 відігнені в протилежні сторони так, що кожний з них огинає додатковий плазмівід по його периметру. Додатковий плазмівід 29 забезпечений додатковою магнітною котушкою 30. Ця котушка підключена до джерела живлення так, що магнітне поле, що створюється нею, направлено проти поля вихідної котушки 16. У такому виконанні джерело (Фіг.9а) дозволяє формувати два потоки фільтрованої вакуумно-дугової плазми, спрямовані в протилежні сторони. Плазмові потоки тут позначені стрілками 28 і 28а. При наявності другого генератора плазми 1(а), що приєднаний до другого торця плазмоводу 8 замість кришки 19 і електроду 20 (Фіг.9б), дане джерело плазми дозволяє формувати два потоки двокомпонентної плазми.

Ще одне виконання джерела фільтрованої вакуумно-дугової плазми за Фіг.9а з додатковим плазмоводом схематично зображене на Фіг.9(с). Тут до торця додаткового плазмоводу 29 пристиковано друге джерело фільтрованої вакуумно-дугової плазми 1а. У якості другого джерела використаний пристрій, схематичне креслення якого наведено на Фіг.1. У такому виконанні джерело забезпечує можливість формувати потік фільтрованої двокомпонентної плазми. Джерело за Фіг.9с також забезпечує потік фільтрованої двокомпонентної плазми. Але на відміну від розглянутих вище варіантів, зображених на Фіг.8 і Фіг.9(б), в даному джерелі виключена можливість перенесення матеріалу одного катода на інший у вигляді макрочастинок, тому що між катодами 3 і 3' генераторів 1 і 1', відповідно, немає прямої видимості. Ця властивість джерела плазми у виконанні, що розглядається, дозволяє використати його як джерело газової і металеві плазми для здійснення так званої дуплексної обробки матеріалів, коли в одному технологічному циклі поєднується обробка виробу газовою плазмою (іонне травлення, азотування, іонна імплантація зануренням в плазму і інш.) та осадження покриття конденсацією з металеві плазми. Генерування газової плазми здійснюється при горінні дугового розряду в одному з генераторів плазми, наприклад, в генераторі 1' в середовищі робочого газу при тиску понад 10^{-1} Па і при наявності допоміжного анода у вакуумній камері (на кресленні не показано) і з магнітними котушками фільтра 2'. За допоміжний анод може служити подовжуюча секція 9(а) вихідного плазмоводу 9. При цьому простір всередині плазмоводів і у вакуумній камері заповнюється газовою плазмою, а компоненти металеві плазми, що імітуються катодними плямами дуги в джерелі 1', розсіюються на газовій мішені в плазмоведучому каналі і до виходу системи не доходять. Слід вказати на відмінності в розміщенні подовжуючої секції 9(а) відносно підкладки або виробу 34, що обробляється, і камери 39 у виконаннях джерела, зображених на Фіг.1 і Фіг.5. У джерелі Фіг.5 подовжуюча секція 9а,

фактично, розташована в межах вакуумної камери 39 і швидше не є конструкційною частиною плазмового джерела. Цей варіант на Фіг.5 є корисним, коли відстані в межах камери великі.

Ще одне виконання джерела фільтрованої вакуумно-дугової плазми по винаходу подане на Фіг.10. Тут до вхідного плазмоводу 8 фільтра 2 як генератор плазми 1 приєднано джерело вакуумно-дугової плазми, виконане у відповідності із схематичним кресленням, що подано на Фіг.5. Згадане джерело плазми 1 з генератором 1' і фільтром 2' приєднано своїм вихідним плазмоводом 9' до першої секції 11 вхідного плазмоводу 8 фільтра 2. Таким чином, джерело плазми загалом містить два з'єднаних послідовно фільтри 2' і 2. Плазмоведучий канал тут складається з наступних ділянок: 4', 11', 9', 11, 9, 9(а). Плазмовий потік 28, що емітується катодними плямами дугового розряду, проходячи уздовж згаданого каналу двічі зазнає повороту на 90°: між ділянками 11' і 9' і між 11 і 9. В кінцевому підсумку, плазмовий потік згинається на 180°. Перевага фільтра Фіг.10 з таким плазмоводом полягає в більш високій ступені очищення плазми від макрочастинок. До плазмоводу 8 джерела, зображеного на Фіг.10, може бути підключено ще одне джерело фільтрованої вакуумно-дугової плазми. Зокрема, як перше джерело 1, підключене до секції 11 плазмоводу 8, так і друге джерело, підключене до секції 12 згаданого плазмоводу 8, можуть відповідати виконанням, поданим на Фіг.5 або на Фіг.8.

На Фіг.11 представлене схематичне креслення джерела, в якому генераторами плазми 1, підключеними до торця секцій 11 і 12 плазмоводу 8, служать джерела плазми, що виконані у відповідності з Фіг.8. Подане на Фіг.11 джерело дозволяє формувати потік багатокомпонентної плазми з високим ступенем очищення від макрочастинок. Потік на виході системи може включати в себе до чотирьох компонент, кожна з яких являє собою плазму матеріалу одного із чотирьох катодів 3. Напрямок руху плазми від катодів до виходу системи показано стрілками 28. Кожна з чотирьох складових потоку потерпає по два повороти на 90°, чим і забезпечується підвищений ступінь очищення плазми від макрочастинок. При почерговому включенні розрядів в кожному генераторі плазми по заданій програмі система Фіг.11 забезпечує можливість осадження багаточастикових покриттів, що містять шари від двох до чотирьох складів в заданій послідовності.

Потрібно зазначити, що у варіантах джерела за винаходом, зображених на Фіг.10 і Фіг.11, площини вигину плазмоведучого каналу у фільтрі 2' і фільтрі 2 можуть співпадати і не співпадати. Те ж відноситься і до джерела, зображеного на Фіг.11: площини симетрії генераторів плазми 1 і фільтра 2 також можуть співпадати і не співпадати. Причому допустиме кутове зміщення згаданих площин відносно один одного навколо осі ОО' може бути будь-яким в межах $\pm 180^\circ$. Вибір кута зміщення визначається, зокрема, міркуваннями зручності конструювання системи при проектуванні її під конкретну технологічну задачу.

Як згадано вище, пониження кінетичної енергії іонів в плазмі, що генерується джерелом за винаходом, виглядає важливою його перевагою при осадженні покриттів на підкладку, чутливу до впливу потоків високоенергетичних частинок. Якщо, однак, плазмові джерела Фіг.1 або Фіг.5 призначені для використання в технологіях, в яких допускається або потрібна підвищена енергія іонів плазми, то доцільне згідне включення елементів 14, 15, 17, і 18 магнітної системи фільтра 2. Фіг.6b показує результат такого включення магнітних котушок 14, 15, 17 і 18. При цьому досягається найбільш рівномірний розподіл напруженості магнітного поля по перетину. Градієнт поля в такій системі мінімальний. Це, в свою чергу, сприяє зниженню градієнтного дрейфу плазми, зменшенню зумовлених цим дрейфом втрат і, отже, поліпшенню умов проходження плазми вздовж фільтра. Використання конфігурації магнітних котушок Фіг.6b в пристрої Фіг.5 і включення додаткової котушки 24 згідно з вихідною котушкою 16 збільшує цей ефект. На відміну від інших пристроїв винаходу, допоміжна конфігурація Фіг.6b не має зони мінімуму магнітного поля з нулем в її центрі, де іони могли частково втрачати їх кінетичну енергію, і тому іонний компонент плазми зберігає свою початкову кінетичну енергію при проходженні через плазмовід.

Очевидно також, що циліндрична форма з круглим поперечним перетином катода і анода генератора плазми, а також плазмоводів плазмового фільтра в описаних тут виконаннях джерела плазми по винаходу потрібно розглядати лише як одну з можливих форм, найбільш просту і зручну при виготовленні системи. Не виключене виконання джерела, форма елементів якого (катода, анода, плазмоводів) є прямокутною. Таке виконання джерела плазми доцільне при використанні його для обробки виробів великих розмірів, для осадження покриттів на листові і рулонні матеріали.

Необхідно також зазначити, що плазмове джерело винаходу, що пропонується, може працювати не тільки в режимі постійного струму, але і в імпульсному режимі також.

Приклади

Експериментальний зразок джерела фільтрованої вакуумно-дугової плазми за винаходом по Фіг.5 було використано як демонстративний. У цьому джерелі катод 3 генератора плазми 1 являв собою циліндр діаметром 60мм. Матеріалом катода служив титан. Анод і всі плазмоводи виконані з немагнітної неіржавіючої сталі. Неробочий торець катода, анод і плазмоводи охолоджувалися водою. Внутрішній діаметр анода 4 і плазмоводів 8 і 9 - 190мм. Довжина анода - 200мм, довжина кожного з елементів плазмоведучого каналу (11, 12, 9, 9') дорівнювала 190мм. Внутрішній діаметр анода 4 і плазмоводів 8 і 9 становив 190мм. Кількість ампер-витків в котушках системи була такою, при якій забезпечується розподіл магнітних полів, зображений на Фіг.6, при напруженості поля на осі вихідного плазмоводу 9, що дорівнювала 50 Ерстед. Типовими кількостями ампер-витків для магнітних котушок 5, 6, 14, 15, 16, 16а, 17, 18 і 24 є - 2000, 1000, 800, 800, 700, 700, 500, 500 і 800 відповідно.

Вплив струмів у котушці 24 (I_{24}) і коригуючи 17 і 18 ($I_{17,18}$) на величину струму іонів на виході джерела, а також вплив напруги зміщення на плазмоводах на величину іонного струму на виході фільтра показано на Фіг.12, 13 і 14. Іонні струми, подані на цих малюнках, були виміряні за допомогою плоского колектора при струмі дуги 110А. Струми магнітних котушок, показані на Фіг.12 і Фіг.13 відповідають випадку, коли котушки мають 150 витків проводу. Вхідний іонний струм, виміряний плоским колектором на вході фільтра 2, приблизно дорівнював 8А. Отже ефективність транспортування іонів, визначена як відношення потоку іонів на виході до потоку іонів на вході, досягає 67% у разі Фіг.10. З наведених даних видно, що джерело фільтрованої плазми за винаходом більш ніж вдвічі перевершує відомі пристрої аналогічного призначення по ефективності транспортування іонного компоненти плазми через фільтр.

На лабораторній установці, обладнаній плазмовим джерелом за винаходом були отримані покриття, вільні від макрочастинок для катодів, зроблених з титану і алюмінію. Титанові покриття отримані при залишковому газовому тиску біля $5 \cdot 10^{-4}$ Па. Швидкість осадження покриття - приблизно 20 мікрметрів на годину. Підкладкою служили пластини з полірованої неіржавіючої сталі. Покриття на основі нітридів титану осаджували в суміші азоту з аргоном 1/1. Мікротвердість конденса-ту становила 27ГПа.

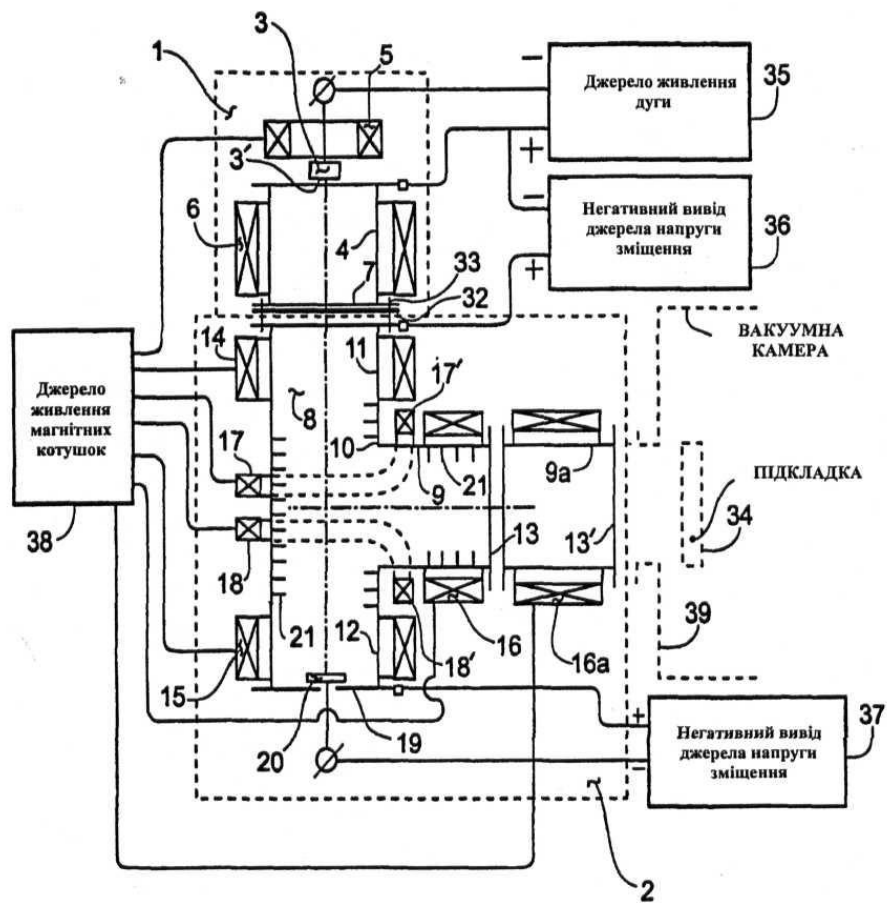
Прозорі плівки з Al_2O_3 отримували осадженням Al плазми на скло в атмосфері суміші кисня (80ат.%) з аргоном. Товщина плівки становила 4-6мкм, швидкість осадження - біля 6мкм/год. Мікротвердість - біля 14ГПа. Синтез оксидів і нітридів алюмінію здійснювали, використовуючи катод з

алюмінію високої чистоти (кількість домішок не більше за 0,01%), при подачі на підкладку високочастотного потенціалу (1МГц) амплітудою біля 50В. Нітрид алюмінію у вигляді прозорої плівки товщиною до 1мкм на окулярних пластикових лінзах синтезували конденсацією Al плазми в атмосфері азоту. Коефіцієнт пропускання світла у видимому спектрі становив біля 94%, що свідчить про високий ступінь очищення плазми від макрочастинок.

Алмазоподібні вуглецеві покриття осаджували на полірованих сталевих пластинах, з використанням графіту високої чистоти в якості матеріалу катода. Протягом процесу на підкладку подавали високочастотний потенціал 5МГц, і 100В відносно стінок вакуумної камери. Аргон використовувався як робочий газ при тиску приблизно 0,07Па. Швидкість осадження - від 4 до 14 мікрметрів на годину. Однорідні покриття отримані на площі приблизно 15см^2 . Мікротвердість покриття - приблизно від 70 до 80ГПа.

Можливо варто зазначити, що джерело плазми, що заявляється з його вихідними електронами і позитивно зарядженими іонами значно відрізняється від апарату, який відомий в науці як "джерело іонів". Фактично справжнє "джерело іонів" є апаратом іншої категорії, апаратом, що емітує тільки потік іонів, і такий апарат включає додаткові елементи, що не використовуються в даному винаході.

Хоч описані тут пристрої складають переважне втілення винаходу, слід вважати, що винахід не обмежений цією точною формою апарату і можливі їх інші варіанти без зміни суті винаходу, визначеної в формулі, приведеній в кінці винаходу.



Фиг. 1

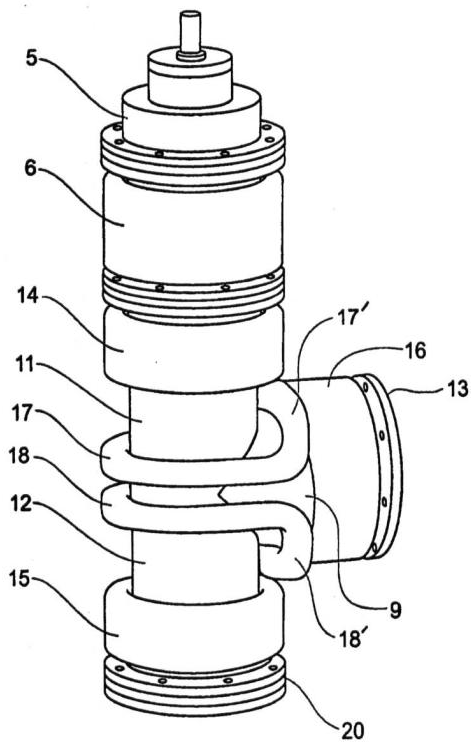
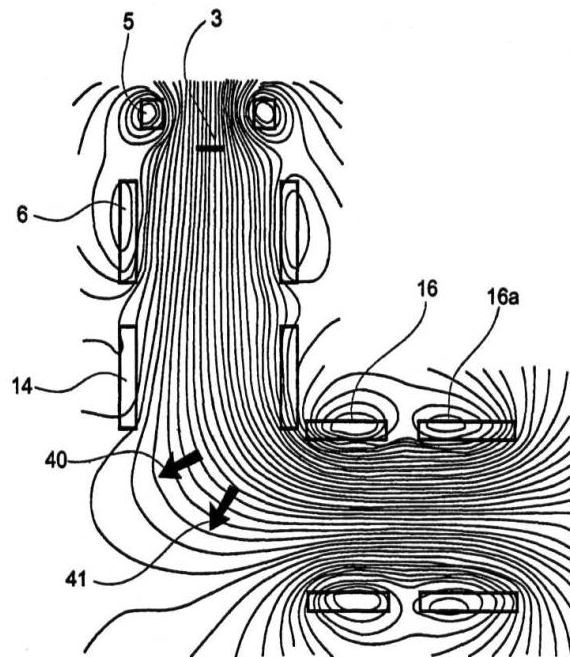


Fig. 2



Фиг. 3

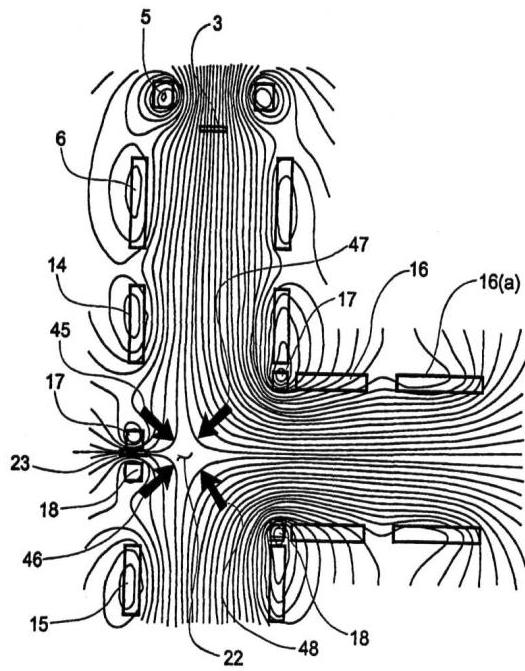


Fig. 4

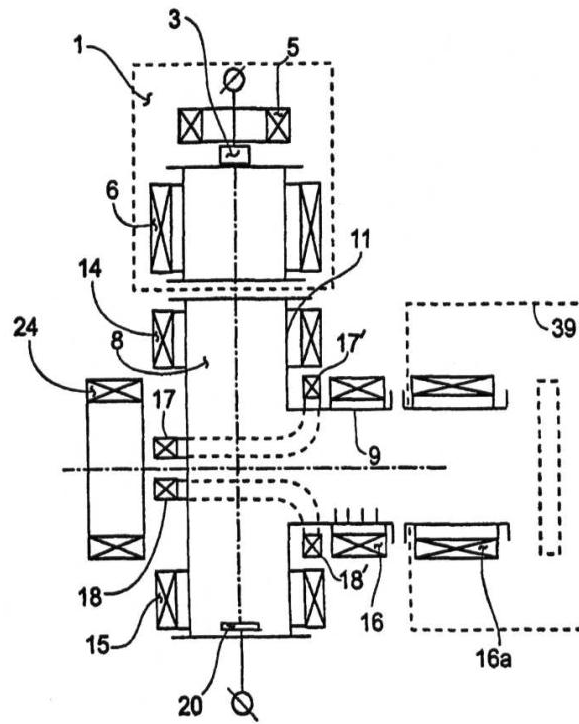


Fig. 5

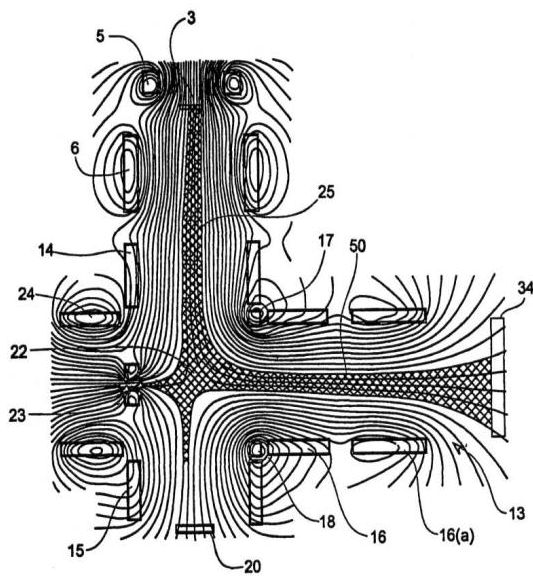


Fig. 6a

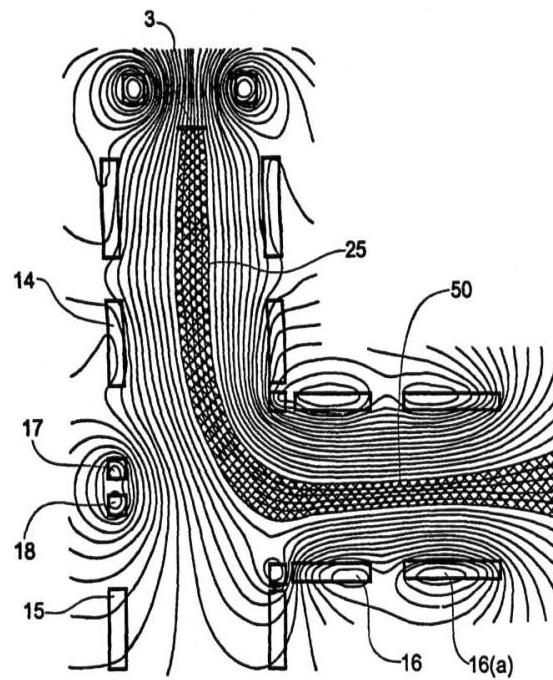
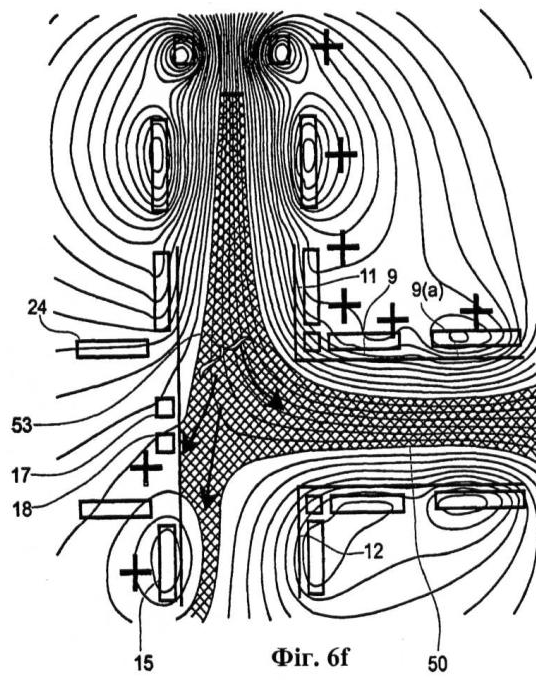
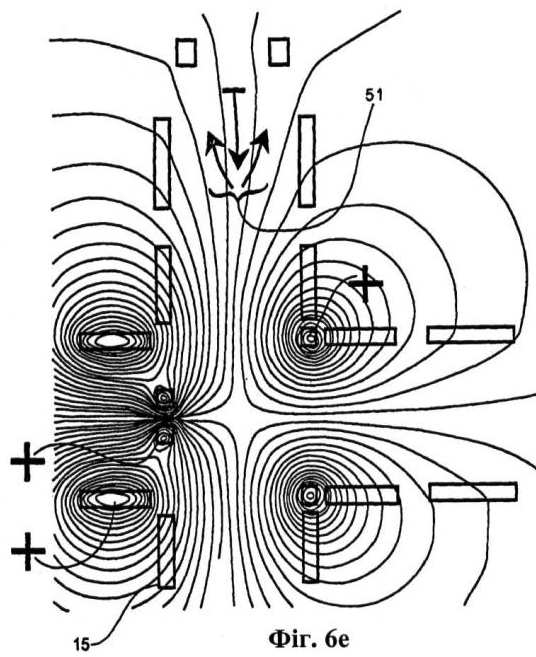
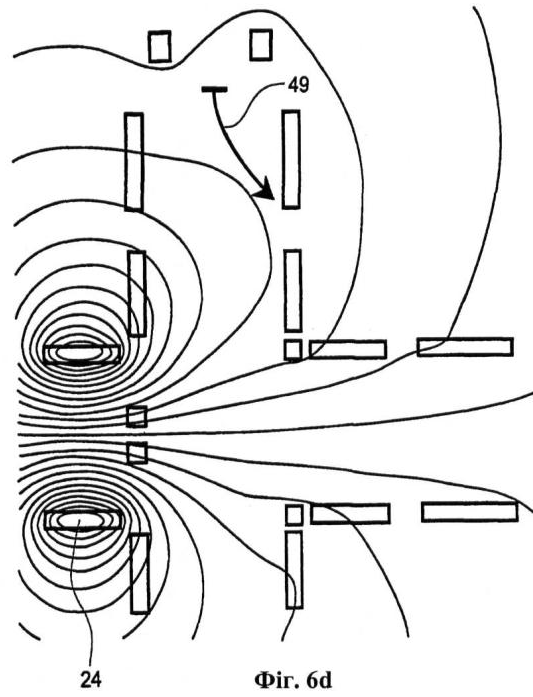
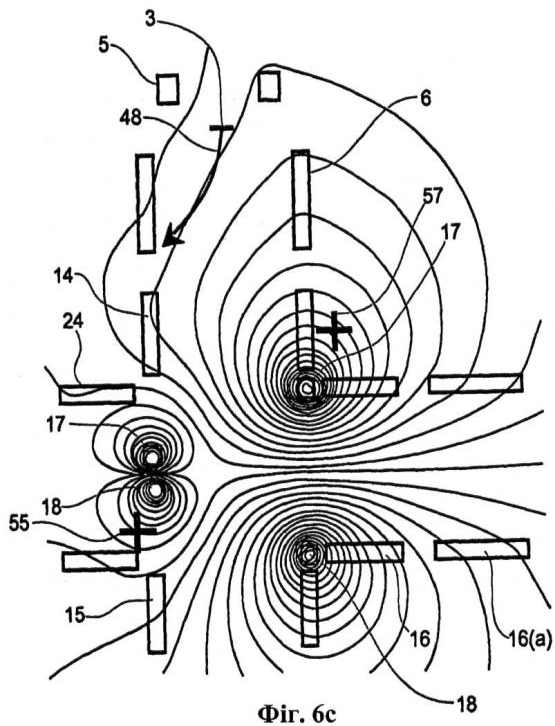


Fig. 6b



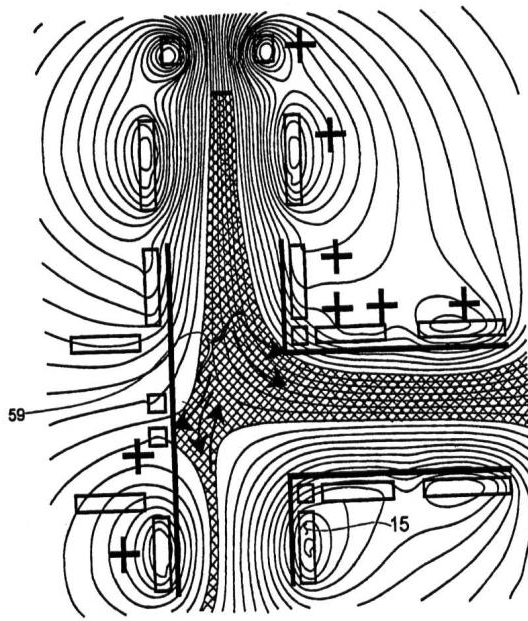


Fig. 6g

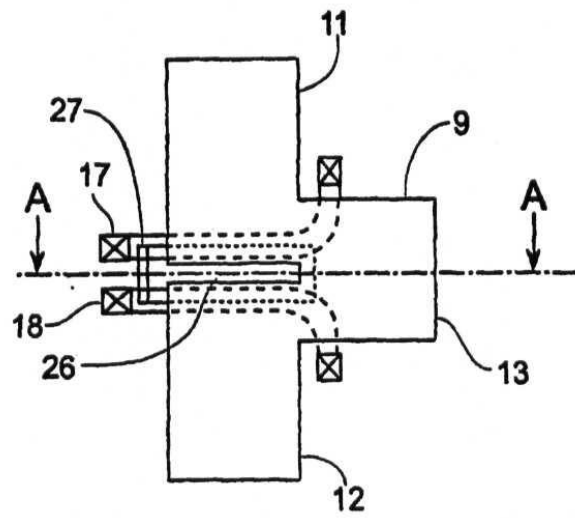


Fig. 7a

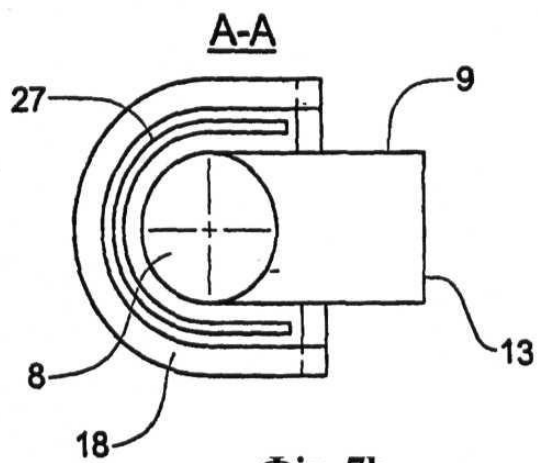


Fig. 7b

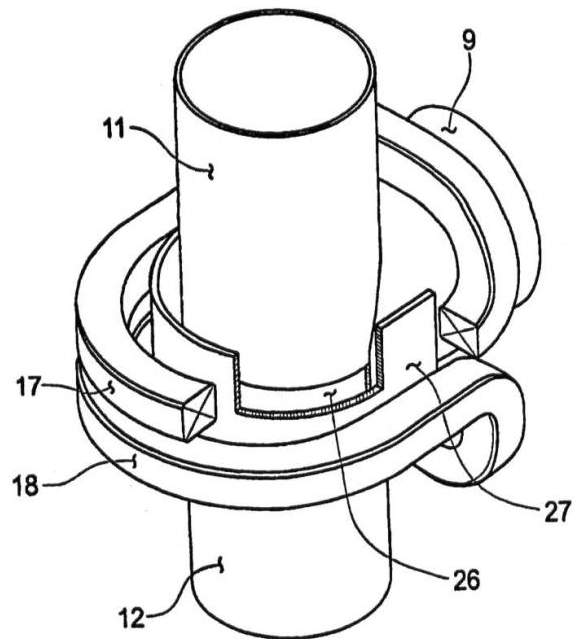


Fig. 7c

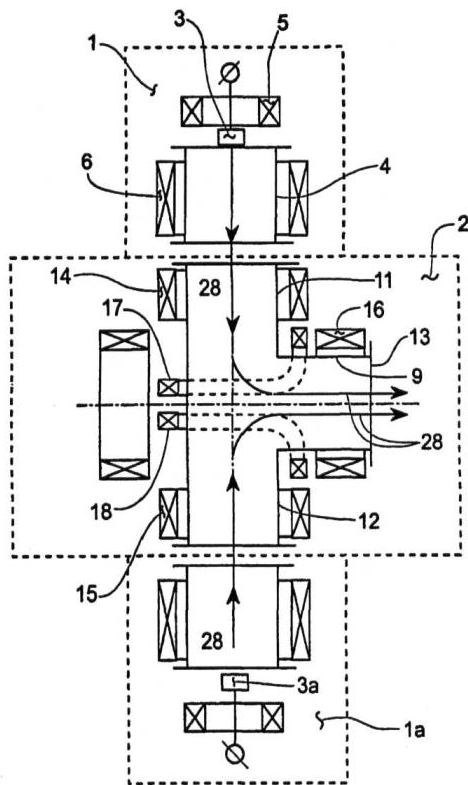


Fig. 8

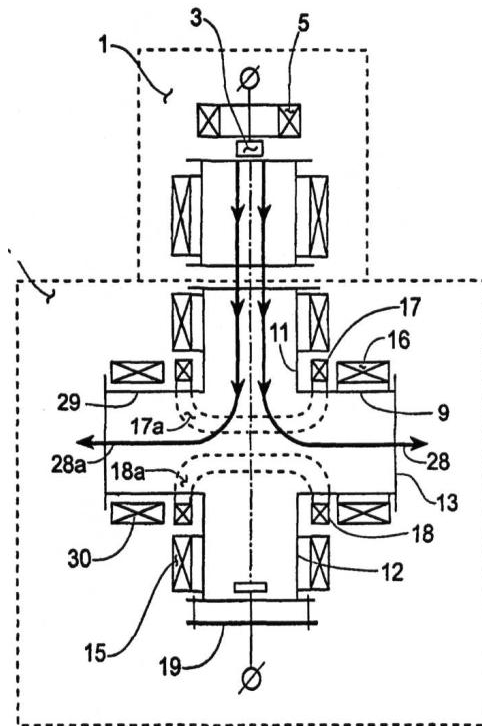


Fig. 9a

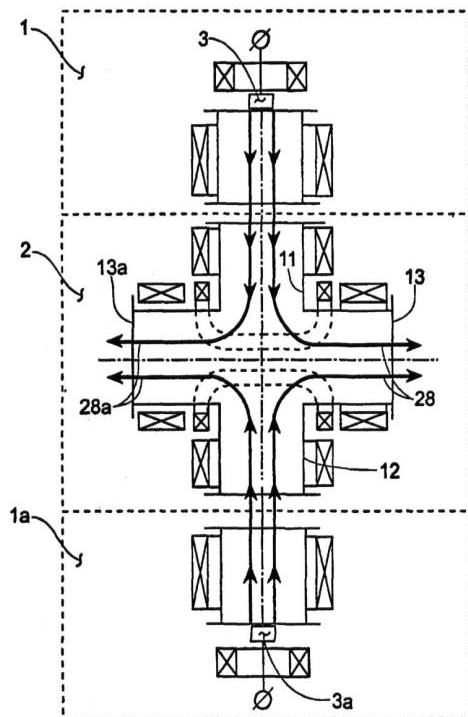


Fig. 9b

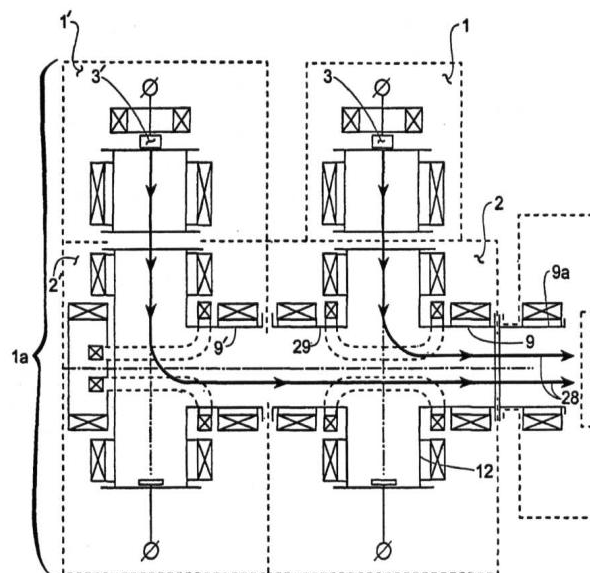


Fig. 9c

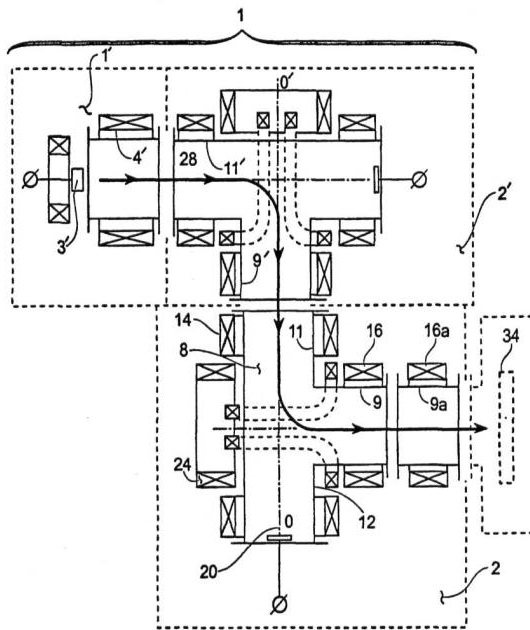


Fig. 10

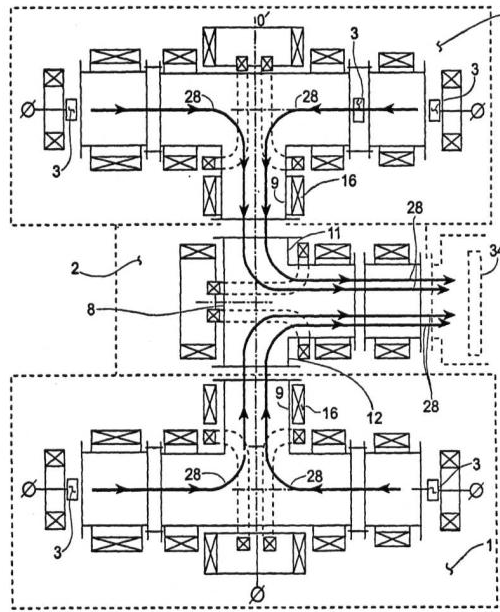


Fig. 11

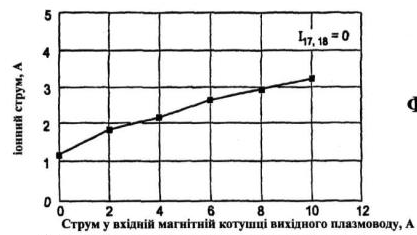


Fig. 12



Fig. 13

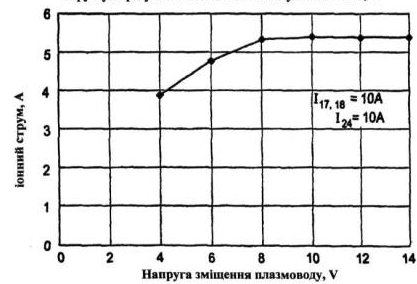


Fig. 14