



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **102744** (13) **U**
(51) МПК (2015.01)
C23C 14/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	а 2013 12581	(72) Винахідник(и):	Гришкевич Олександр Дмитрович (UA)
(22) Дата подання заявки:	28.10.2013	(73) Власник(и):	ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ МЕХАНІКИ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ І ДЕРЖАВНОГО КОСМІЧНОГО АГЕНТСТВА УКРАЇНИ,
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	25.11.2015		вул. Лешко-Попеля, 15, м. Дніпропетровськ, 49005 (UA)
(41) Публікація відомостей про заявку:	12.05.2015, Бюл.№ 9		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	25.11.2015, Бюл.№ 22		

(54) НЕЗБАЛАНСОВАНА ЦИЛІНДРИЧНА МАГНЕТРОННА РОЗПИЛЮЮЧА СИСТЕМА

(57) Реферат:

Незбалансована циліндрична магнетронна розпилююча система містить джерело живлення магнетронного розряду, джерело негативного зміщення підкладки, що ввімкнене між підкладкою і анодом магнетрона, анод, водоохолоджуваний трубчастий катод і розташовану в порожнині катода магнітну систему. Мінімальна конфігурація магнітної системи складається з одного блока трьох співвісних дискових магнітних полюсів, що розташовані в порожнині катода. Крайні магнітні полюси мають однакову полярність, яка протилежна полярності середнього полюсу, між полюсами розташовані основні джерела магнітного поля, а до зовнішніх торців крайніх полюсів примикає мінімум одне додаткове магнітне джерело.

UA 102744 U

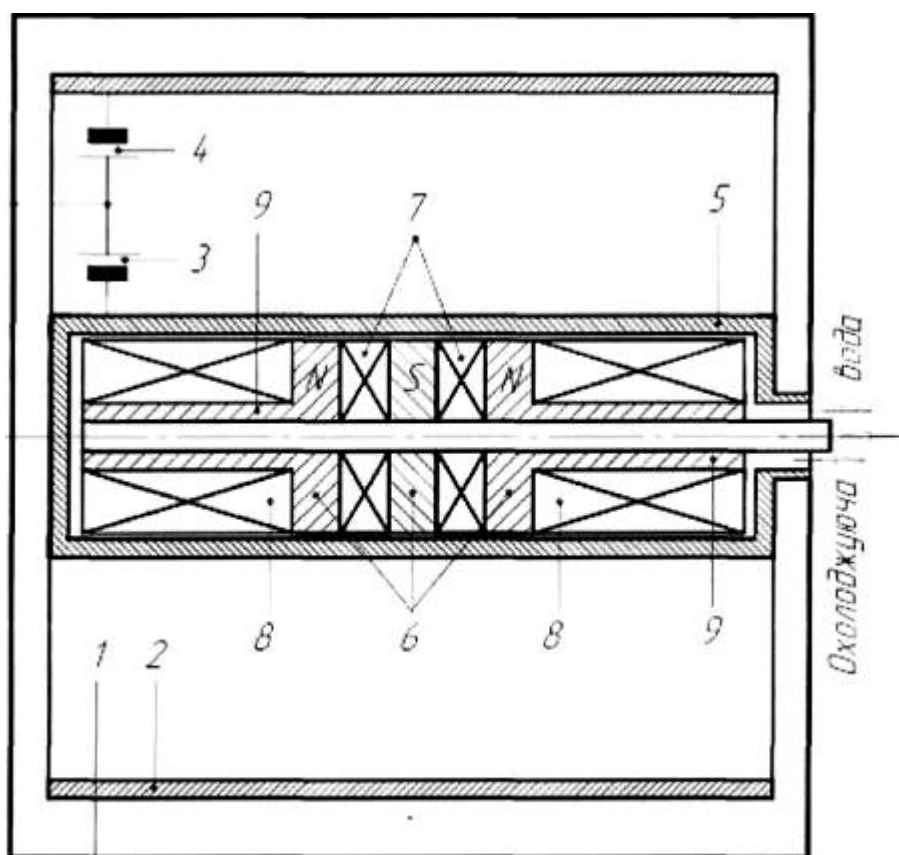


Fig. 1

Корисна модель належить до іонно-плазмової техніки і технології нанесення покриттів і може бути використана при нанесенні захисних покриттів на внутрішні робочі поверхні трубчастих виробів.

Для поліпшення поверхневих функціональних і експлуатаційних властивостей деталей машин все ще досить широко застосовуються гальванічні технології нанесення захисних металевих покриттів. З міркувань охорони довкілля, на цей час гальванічні технології замінюються сухими, дружніми до довкілля, іонно-плазмовими технологіями. До того ж іонно-плазмові технології забезпечують отримання більш широкого, ніж гальванічні технології, спектра можливостей модифікації властивостей робочих поверхонь. Новітні технології нанесення покриттів різноманітного хімічного складу і архітектури з наперед заданими фізико-механічними властивостями базуються, насамперед, на прогресивному технологічному прийомі, що полягає в проведенні попередньої обробки поверхні конденсації покриття високоенергетичними іонами з наступним асистуванням процесу нанесення покриття низькоенергетичними іонами. Широке застосування прогресивних технологій стало можливим завдяки розробці нових типів технологічних плазмових пристроїв, що відповідають всім вимогам промислового виробництва.

Розширення застосування іонно-плазмових технологій в машинобудуванні, що відбулося в 70-і роки 20-го сторіччя [1, 2], пов'язане з розробкою вакуумно-дугових випарювачів (ВДВ) і високошвидкісних магнетронних розпилювальних систем (МРС). При цьому вакуумно-дугова технологія забезпечує високу продуктивність технологічного процесу, а магнетронна технологія - високу якість покриття. Переваги магнетронної технології полягають у притаманному їй атомарному (безкрапельному) способу формування покриттів. Шлях до суттєвого покращання якості вакуумних покриттів було запропоновано Д. Меттоксом [3]. Запропонований спосіб було реалізовано в технологічних процесах, які при однаковій суті отримали різні назви: «ion plating»; конденсація з іонним бомбардуванням (КІБ); «ion enhanced»; «ion assisting». Найбільшого розповсюдження набула остання назва - іонне асистування.

Суттю іонного асистування є застосування бомбардування поверхні обробки низькоенергетичними іонами під час конденсації покриття. Технічна реалізація способу пов'язана з необхідністю організації біля поверхні конденсації області плазми. Для створення області плазми використовується високочастотний розряд [4] або розряд з розжарюванням [5] (або газорозрядним [6]) джерелом електронів. Аналогічного ефекту досягають при використанні інтегрованого плазмового пристрою з використанням двох (дуальна схема) або більше (квадрупольна схема) МРС [7].

В магнетронному розпилювачі класичного типу лінії магнітного поля в області розряду створюють конфігурацію «електронної пастки», що підвищує ефективність іонізації робочого газу в розряді. Електрони з магнетронного розряду не можуть виходити за межі пастки і біля поверхні конденсації покриття, що розташовується на відстані більше 50 мм від катода МРС, плазма практично відсутня. Розташування поверхні конденсації на межі або безпосередньо в межах області розряду можливе тільки для обмеженого класу виробів. Таким чином, при застосуванні магнетронного розпилювача класичного типу, іонне асистування може бути реалізоване тільки при використанні автономного джерела плазми. Технологічні плазмові пристрої для реалізації всіх згаданих вище способів іонного асистування являються принципово інтегрованими і повинні включати генератор часток матеріалу покриття і генератор газової плазми. Ця обставина ускладнює конструкцію технологічного плазмового устаткування і обмежує використання технології іонного асистування процесу конденсації покриття.

Суттєвий прогрес в апаратурному забезпеченні технології іонного асистування пов'язаний з розробленням магнетронних розпилювачів незбалансованого типу [8]. Тоді, як типовою ознакою класичного МРС є конфігурація магнітного поля в області розряду по типу «електронної пастки», в МРС незбалансованого типу створюються умови для виходу частини електронів за межі електронної пастки. Цього ефекту досягають спеціальним профілюванням конфігурації магнітного поля МРС. Одним із способів профілювання магнітного поля є розміщення в проміжку між розпилюваним катодом і поверхнею конденсації покриття (в прольотному проміжку) додаткової магнітної котушки [9, 10, 11]. Для магнетронних розпилювачів планарного типу бажаного ефекту досягають підсиленням периферійного джерела магнітного поля (кільцевого постійного магніту). Це перетворює магнетронний розпилювач в технологічний пристрій, що поряд з основними властивостями - джерела частинок матеріалу покриття, отримує властивості генератора плазми.

Аналіз науково-технічної і патентної інформації не виявив технічних рішень стосовно створення незбалансованого магнітного поля для циліндричного магнетронного розпилювача без застосування додаткового магнітного джерела в прольотному проміжку.

Найближчим аналогом до корисної моделі є незбалансована трубчаста магнетронна розпилююча система (ТрМРС) [11]. Спільними ознаками є те, що плазмовий пристрій-прототип містить джерело живлення магнетронного розряду і джерело негативного зміщення підкладки, що ввімкнене між підкладкою і анодом магнетрона, анод і водоохолоджуванний трубчастий катод з розташованою в його порожнині магнітною системою. Конструкція магнітної системи включає магнітну систему планарного магнетронного розпилювача з видовженим катодом, що визначає конфігурацію розряду ТрМРС з конфігурацією аналогічною розряду в планарній МРС. Катодом ТрМРС являється труба, яка обертається навколо своєї осі, що забезпечує значне підвищення коефіцієнту використання матеріалу катода. Для забезпечення незбалансованої конфігурації магнітного поля використовується додаткова магнітна котушка, що охоплює область магнетронного розряду в проміжку між катодом і підкладкою. Видовжена геометрія пристрою дозволяє використовувати його при нанесенні покриттів на внутрішні поверхні трубчастих виробів.

Недоліком найближчого аналога є те, що в разі обробки внутрішніх поверхонь, є значні габарити системи, що обмежує його можливості при обробці виробів з малими внутрішніми діаметрами. Негативною ознакою є також те, що для забезпечення максимального використання матеріалу катода, передбачається обертання катода навколо своєї осі. Необхідність обертання вимагає використання складного пристрою для вводу руху обертання водоохолоджуваного катода в вакуумну камеру. Характерна геометрія розряду ТрМРС також вимагає забезпечення додаткового обертання оброблюваного трубчастого виробу навколо осі системи.

В основу корисної моделі поставлена задача, подолання головних обмежень і недоліків, притаманних пристрою - найближчому аналогу, а саме:

1) значних габаритів ТрМРС при його застосуванні для обробки внутрішніх поверхонь малого діаметра;

2) виключення з конструкції пристрою вузлів обертання водоохолоджуваного трубчастого катода і трубчастого оброблюваного виробу.

Поставлена задача вирішується тим, що використовується магнітна система циліндричного магнетронного розпилювача з мінімальною конфігурацією, що складається з одного блока трьох співвісних дискових магнітних полюсів, що розташовані в порожнині катода, причому крайні магнітні полюси мають однакову полярність, яка протилежна полярності середнього полюсу, між полюсами розташовані основні джерела магнітного поля, а до зовнішніх торців крайніх полюсів примикає мінімум одне додаткове магнітне джерело.

В конструкції пристрою основні магнітні джерела магнітної системи виконано в вигляді постійних магнітів, а як додаткові джерела магнітного поля використовуються магнітні котушки зі струмом на феромагнітних осердях. Таке технічне рішення створює можливість незалежного регулювання магнітних потоків через крайні магнітні полюси.

Також в конструкції магнетрона передбачається використання однієї додаткової магнітної котушки. Для забезпечення необхідного діапазону сканування оброблюваної поверхні іонним пучком, основне магнітне джерело, що встановлене з боку магнітної котушки, має меншу за протилежне джерело магнітну енергію.

Також в конструкції магнетрона передбачається використання однієї магнітної котушки, що розташована між двома блоками магнітних полюсів. В цій конструкції досягається розширення області іонної обробки підкладки шляхом її скануванням потоком низькоенергетичних іонів.

Розширення області конденсації покриття на внутрішню поверхню також досягається встановленням в порожнині трубчастого катода послідовного ряду двох або більше магнітних систем мінімальної конфігурації. Розширення області конденсації покриття на внутрішню поверхню також досягається поздовжнім скануванням розпилюваної поверхні катода магнетронним розрядом (або рядом розрядів).

Два останні технічні рішення можуть використовуватись сумісно.

Для переміщення магнітної системи відносно розпилюваної поверхні катода використовується привід зворотно-поступального переміщення. Встановлення приводу руху за межами вакуумної камери не впливає на герметичність вакуумної системи. Використання зворотно-поступального переміщення замість обертання спрощує конструкцію технологічного пристрою і підвищує її експлуатаційну надійність.

Інтенсифікація основного магнетронного розряду шляхом підсилення основних магнітних джерел вимагає відповідного підсилення додаткових магнітних джерел. Наслідком цього може бути виникнення додаткових магнетронних розрядів над магнітними котушками. Для запобігання цьому в конструкції пристрою аноди магнетронного розряду виконують у вигляді втулок, які встановлюють над магнітними котушками на границі основного магнетронного розряду. Діаметр

втулок вибирають таким, щоб магнітна індукція на поверхні втулки була недостатньою для запалювання магнетронного розряду.

Запобігання виникнення додаткових магнетронних розрядів також можна досягти при виконанні анодних втулок із феромагнітного металу, що охоплюють область катода над магнітними котушками.,

Для розширення області розпилення поверхні катода, в разі конструкції пристрою з анодами-втулками, аноди-втулки мають можливість зворотно-поступального переміщення, синхронного з переміщенням магнітної системи.

Для синхронізації переміщення магнітної системи і анодів-втулок, використовуються магнітні муфти, що розташовані в співвісних з катодом трубках, які примикають до області розпилення катода.

Корисна модель пояснюється кресленнями, на фіг. 1, де: 1 - вакуумна камера, яка може виступати як анод магнетронного розряду; 2 - оброблюваний трубчастий виріб; 3 - джерело магнетронного розряду; 4 - джерело зміщення підкладки; 5 - трубчастий катод; 6 - магнітні полюси; 7 - основні джерела магнітного поля; 8 - додаткові джерела магнітного поля - магнітні котушки; 9 - феромагнітні осердя магнітних котушок.

Особливості роботи пристрою пояснює картина магнітного поля в незбалансованому циліндричному магнетроні, що побудована за допомогою комп'ютерної програми FEMM 4,2 (див. фіг. 2). Видно, що силові лінії магнітного поля над центральним магнітним полюсом НБЦМРС, на відміну від картини в збалансованому магнетроні, відхиляються в бік підкладки. Подібна картина свідчить, що конфігурація магнітного поля відрізняється від конфігурації «магнітної пастки», що створює умови для уходу частини електронів з розряду на підкладку. За рахунок амбіполярної дифузії електрони, що покидають область розряду, захоплюють іони. Це і спричиняє іонний струм на оброблювану поверхню, яка знаходиться під негативним потенціалом зміщення. Регулюючи величину електричного потенціалу зміщення можливо реалізувати попередню іонну підготовку поверхні високоенергетичними іонами перед нанесенням покриття або забезпечити асистування процесу конденсації покриття низькоенергетичними іонами.

При використанні як додаткових джерел магнітного поля магнітних котушок на феромагнітних осердях створюється можливість незалежного регулювання магнітних потоків через крайні магнітні полюси. При цьому картина магнітного поля змінюється, як це показано на фіг. 3. Напрямок потоку іонів, що покидають розряд, відхиляється в бік котушки зі струмом. При поперемінному збільшенні і зменшенні струму через протилежні магнітні котушки сканують пучком іонів область конденсації покриття. Можливість розширення області іонного асистування є відмінною ознакою пристрою, може мати позитивне значення при практичному використанні магнетронного пристрою. Пристрій з керованими магнітними котушками набуває властивість незалежного регулювання магнітних потоків через магнітні полюси. Таким чином може створюватись незбалансованість різного типу. В [7] показано, що за умов більшого центрального магнітного потоку, покриття набувають властивостей, корисних для деяких технічних додатків, наприклад мають підвищену мікропористість.

На фіг. 4 зображено конструкція пристрою, де використані магнітні муфти, що розташовані в співвісних з катодом трубках, які примикають до області розпилення катода, де вакуумна камера - 1; трубчастий виріб - 2; анодні втулки - 10; трубка магнітної муфти - 11; тяга - 12; магніт - 13; феромагнітна втулка - 14; ізолятор - 15.

Магнетронам з незбалансованим магнітним полем (як циліндричним, так і планарним) притаманна особливість, яка полягає в тому, що на близькій відстані від катода область іонної обробки значно вужча за область конденсації покриття. При зменшенні параметра незбалансованості магнітної системи, що визначається величиною магнітного потоку через крайні магнітні полюси, зона іонної обробки дещо розширюється при зменшенні середньої щільності іонного струму на підкладку в зоні конденсації покриття. Аналогічна картина спостерігається при віддаленні підкладки від катода. В корисній моделі створена можливість компенсації цієї невідповідності.

Таким чином, в конструкції незбалансованої циліндричної магнетронної розпилюючої системи, що заявляється, забезпечується досягнення поставленої головної технічної задачі:

1) значного зменшення габаритів магнетронного пристрою з ціллю його застосування для обробки внутрішніх поверхонь малого діаметра;

2) виключення з конструкції пристрою вузла вводу руху обертання водоохолоджуваного трубчастого катода.

Окрім цього, на відміну від пристрою-прототипу, завдяки радіальному характеру розряду в пристрої, при обробці трубчастих виробів відсутня потреба в їх обертанні. В корисній моделі, що

заявляється, зберігається високий коефіцієнт використання матеріалу розпилюваного катода, характерний для пристрою-прототипу. Відмітною ознакою корисної моделі є також можливість немеханічного сканування області конденсації покриття іонами асистування, що також покращує і розширює технологічні і експлуатаційні властивості пристрою.

5 Джерело інформації:

1. Аксенов И.И., Андреев А.А., Белоус В.А., Стрельницкий В.Е., Хороших В.М. Вакуумная дуга / И.И. Аксенов и др. - К.: Наукова думка, 2012. - 727 с.

2. Данилин Б.С. Магнетронные распылительные системы / Данилин Б.С., Сырчин В.К. - М.: Радио и связь, 1982. - 83 с.

10 3. D.M. Mattox, Film deposition using accelerated ions, Electrochem/ Tech-nol. 2 (1964) 295 с

4. Белевский В.П. Методы термоионного осаждения для нанесения металлических покрытий / В.П. Белевский, А.И. Кузьмичев. - К.: Общество «Знание» УССР, 1984. - 23с.

5. Ивановский Г.Ф. Ионно-плазменная обработка материалов / Г.Ф. Ивановский, В.И. Петров. - Радио и связь, 1986. - 231 с.

15 6. Гришкевич О.Д., Хітько А.В. Використання плазмового джерела електронів в магнетронній системі іонного розпилення / Проблеми високотемпературної техніки. - Дніпропетровськ: Видавництво ДНУ. - 135с.

7. Кузьмичев А.И. Магнетронные распылительные системы. Кн. 1. Введение в физику и технику магнетронного распыления / А.И. Кузьмичев. - К.: Аверс, 2008. - 244 с.

20 8. Window B., Harding G.L. Ion assisting magnetron sources: Principles and uses / J.Vac.Sci.Technol/ A., 1990. - V. 8. - P. 1277- 1282.

9. Свадковский И.В. Направление развития магнетронных распылительных систем /И.В. Свадковский // Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники: Доклады БГУИР. - 2007. - № 2 (18). - С. 112-121.

25 10. Соловьёв А.А. Характеристики плазмы несбалансированной магнетронной распылительной системы и их влияние на параметры покрытий ZnO:Ca // Физ. ХОМ. 2009. - № 2. - С. 58 - 65.

11. N.S. Sochugov, A.A. Soloviev, Hui-gon Chun at. al. Extended unbalanced magnetron sputtering system with cylindrical cathode, 7th Korea-Russia international symposium on science and technology (Korus-2005), Ulsan, Korea, 2003. - 532-535 с.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Незбалансована циліндрична магнетронна розпилююча система, що містить джерело живлення магнетронного розряду, джерело негативного зміщення підкладки, що ввімкнене між підкладкою і анодом магнетрона, анод, водоохолоджуваний трубчастий катод і розташований в порожнині катода магнітну систему, яка **відрізняється** тим, що мінімальна конфігурація магнітної системи складається з одного блока трьох співвісних дискових магнітних полюсів, що розташовані в порожнині катода, причому крайні магнітні полюси мають однакову полярність, яка протилежна полярності середнього полюсу, між полюсами розташовані основні джерела магнітного поля, а до зовнішніх торців крайніх полюсів примикає мінімум одне додаткове магнітне джерело.

2. Незбалансована циліндрична магнетронна розпилююча система за п. 1, яка **відрізняється** тим, що основними магнітними джерелами магнітної системи є постійні магніти, а додаткові магнітні джерела виконано у вигляді магнітних котушок зі струмом на феромагнітних осердях.

3. Незбалансована циліндрична магнетронна розпилююча система за пп. 1, 2, яка **відрізняється** тим, що має одне додаткове магнітне джерело, а основне магнітне джерело, що розташоване з боку магнітної котушки, слабше за інше основне магнітне джерело.

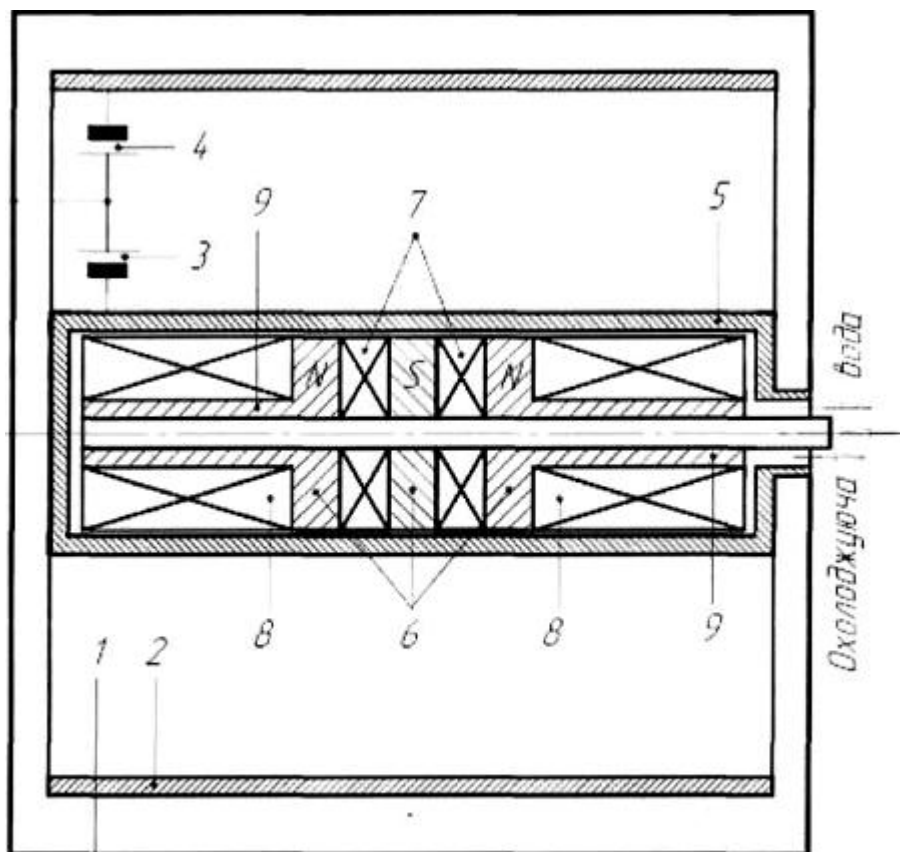
4. Незбалансована циліндрична магнетронна розпилююча система за пп. 1, 2, яка **відрізняється** тим, що магнітна система включає два блоки магнітних полюсів, які мають спільну магнітну котушку, розташовану між ними.

5. Незбалансована циліндрична магнетронна розпилююча система за п. 1, яка **відрізняється** тим, що магнітна система включає дві або більше магнітних систем мінімальної конфігурації, що розташовані послідовно в порожнині трубчастого катода.

55 6. Незбалансована циліндрична магнетронна розпилююча система за п. 1, яка **відрізняється** тим, що магнітну систему виконано рухомою і вона має привід зворотно-поступального переміщення.

7. Незбалансована циліндрична магнетронна розпилююча система за пп. 1, 2, яка **відрізняється** тим, що аноди магнетронного розряду виконано у вигляді втулок, які встановлюють над магнітними котушками на границі основного магнетронного розряду.

8. Незбалансована циліндрична магнетронна розпилююча система за пп. 1, 7, яка **відрізняється** тим, що аноди магнетронного розряду виконано у вигляді втулок з феромагнітного металу, що охоплюють область катода над магнітними котушками.
9. Незбалансована циліндрична магнетронна розпилююча система за пп. 1, 7, 8, яка **відрізняється** тим, що аноди-втулки мають можливість зворотно-поступального переміщення, синхронного з переміщенням магнітної системи.
10. Незбалансована циліндрична магнетронна розпилююча система за пп. 1, 7, 8, 9, яка **відрізняється** тим, що для синхронізації переміщення магнітної системи і анодів-втулок використовуються магнітні муфти, що розташовані в співвісних з катодом трубках, які примикають до області розпилення катода.



Фіг. 1

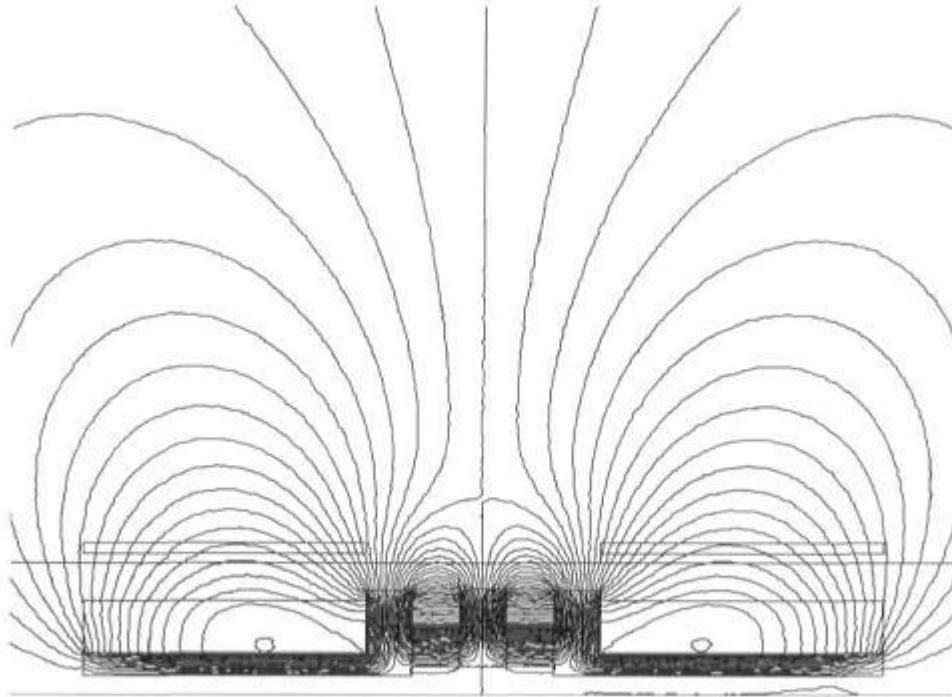


Fig. 2

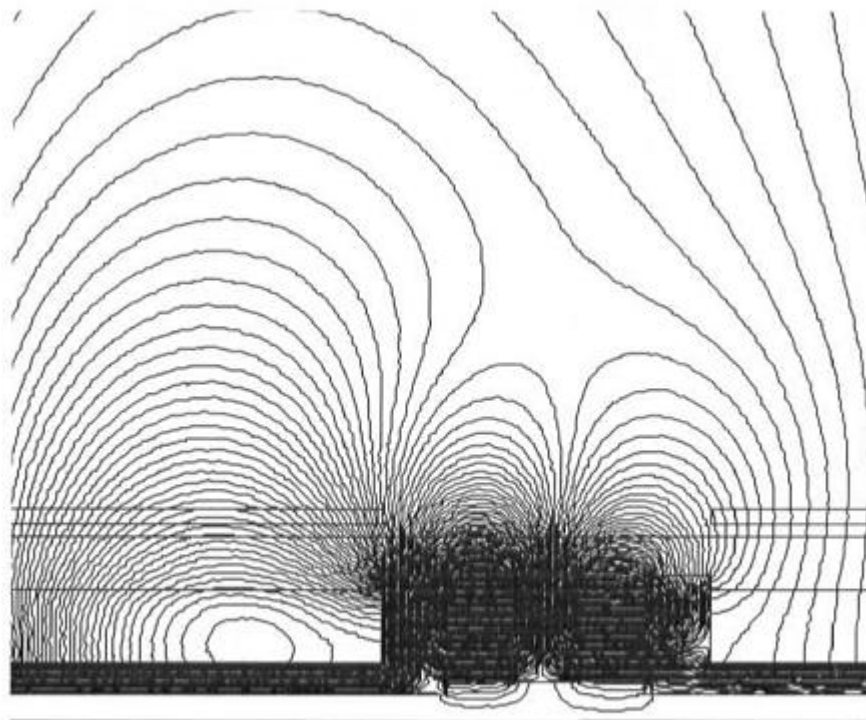


Fig. 3

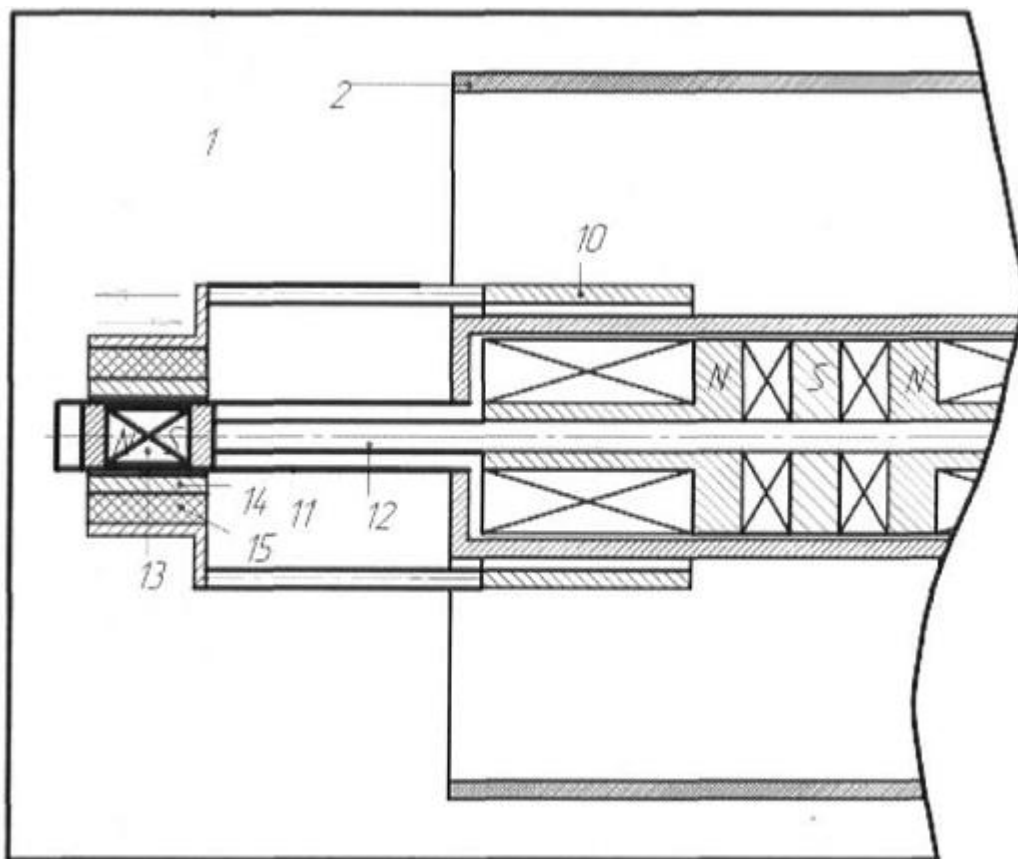


Fig. 4

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

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