



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **121778** (13) **C2**  
(51) МПК (2020.01)  
**H01J 25/00**

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ  
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

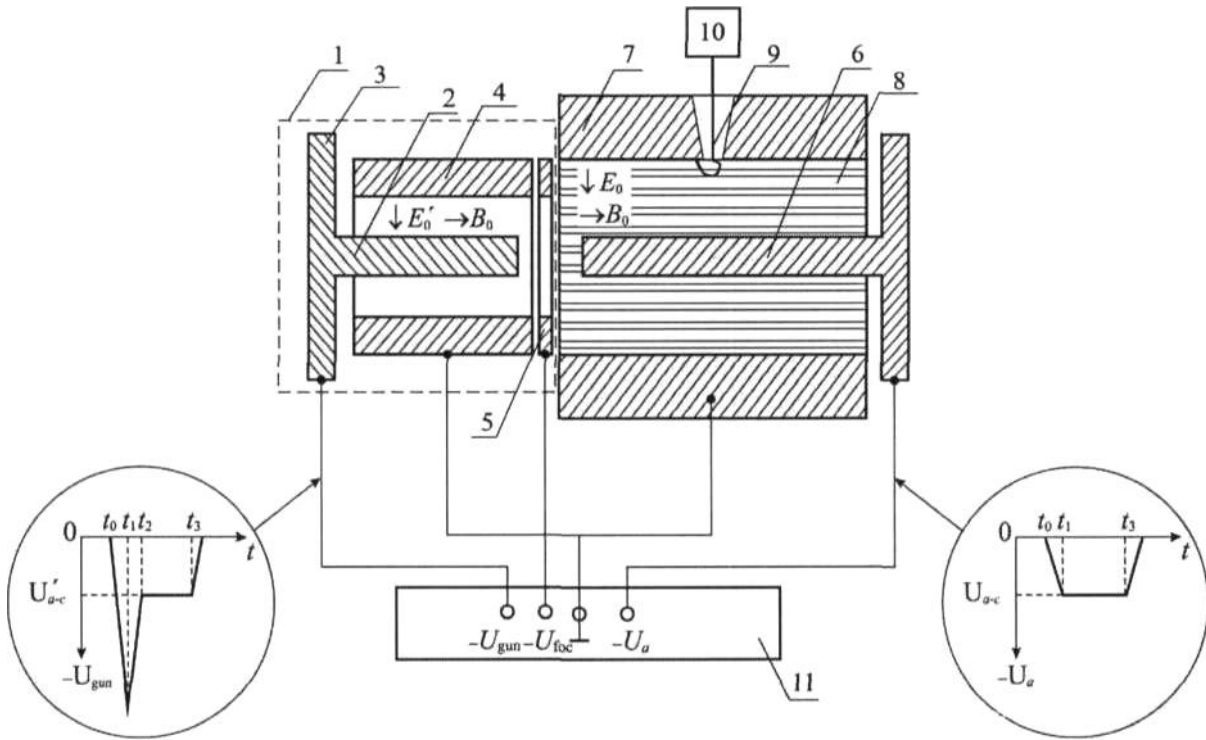
<p>(21) Номер заявки: <b>а 2018 01599</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>19.02.2018</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>27.07.2020</b></p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: <b>10.07.2018, Бюл.№ 13</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>27.07.2020, Бюл.№ 14</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Чурюмов Геннадій Іванович (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНИКИ,</b> пр. Науки, 14, м. Харків, 61166 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: SU 392819 A1, 27.09.1973 EP 593768 B1, 27.08.1997 Starchevskiy, Y. L. et al. "BMS 3D-Code for modeling of cold-cathode crossed field guns." Fifth IEEE International Vacuum Electronics Conference (IEEE Cat. No. 04EX786), pp. 238-239. IEEE, 2004 US 6350356 B1, 26.02.2002 US 2006/0138965 A1, 29.06.2006 WO 2004/100353 A2, 18.11.2004 WO 2005/020272 A2, 03.03.2005 CN 101882549 A, 10.11.2010 RU 2214647 C2, 20.10.2003 JP S 6067646 A, 14.05.1985</p>
--	---

## (54) МАГНЕТРОН З БОКОВИМ ХОЛОДНИМ КАТОДОМ

### (57) Реферат:

Винахід належить до області НВЧ електроніки і може знайти застосування при створенні магнетронних генераторів зі збільшеним терміном служби, підвищеною надійністю роботи і розширеними функціональними можливостями їх застосування як генераторів НВЧ коливань в радіолокаційних системах і системах зв'язку. Магнетрон з боковим катодом, що містить джерело анодного живлення, анодну резонаторну систему з періодично пов'язаними резонаторами, холодний вторинно-емісійний катод у вигляді металевого стержня, виконаного з матеріалу, що має високе значення максимального коефіцієнта вторинної емісії, наприклад, зі сплаву Pd-Ba (або Pt-Ba), термоемісійний катод для емісії первинних електронів, який співвісно розміщено з холодним вторинно-емісійним катодом поблизу торця анодної резонаторної системи за межами її простору взаємодії, вивід енергії та узгоджене навантаження, як боковий термоемісійний катод торцевого типу для емісії первинних електронів використовують торцевий холодний металевий вторинно-емісійний катод, який оточений гладким анодом (торцева магнетронна пушка), а між торцями магнетронної пушки та анодної резонаторної системи розміщені  $n$  аксіально-симетричних фокусуєчих електродів, де  $n=1,2,3,\dots,N$ . Технічним результатом винаходу є збільшення терміну безвідмовної роботи катода і підвищення довговічності роботи магнетрона за рахунок використання автоелектронної емісії та здійснення холодного запуску за допомогою магнетронної пушки, що містить циліндричний торцевий холодний металевий вторинно-емісійний катод, оточений аксіально-симетричним гладким анодом.

UA 121778 C2



Фиг. 1

Винахід належить до області НВЧ електроніки і може знайти застосування при створенні магнетронних генераторів зі збільшеним терміном служби, підвищеною надійністю роботи і розширеними функціональними можливостями їх застосування як генераторів НВЧ коливань в радіолокаційних системах і системах зв'язку.

5 Відомо конструкція магнетрона, яка містить катод, що емітує електрони, анодну резонаторну систему та пристрій для виведення енергії (вивід енергії) (Fisk D., Hagstrum G., and Hartman P. The Magnetrons // Bell System Tech. J. 1946, 26, No. 1, - P. 167-283). У просторі взаємодії між катодом і анодною резонаторною системою існують схрещені статичні електричне і магнітне  
10 електронні спиці і збуджують в анодній резонаторній системі електромагнітні коливання з частотою  $f$ , близькою до резонансної частоти "холодної" анодної резонансної системи  $f_0$  у відсутності електронів у просторі взаємодії. Енергія електромагнітного поля через пристрій для виведення енергії виводиться з магнетрона в загрузку, яка узгоджена з анодною резонаторною системою.

15 Повний струм в просторі взаємодії магнетрона утворюється за рахунок електронної емісії з термоемісійного катода, розташованого співвісно з анодною резонаторною системою. Первинні електрони (первинний електронний струм), що утворюються завдяки термоелектронній емісії з катода, рухаючись по циклоїдальних траєкторіях в просторі взаємодії анодної резонаторної системи, повертаються на катод і вибивають вторинні електрони, викликаючи таким чином  
20 струм вторинної електронної емісії, величина якого значно (більш, ніж на порядок) перевищує первинний термоелектронний струм. Електрони збуджують електромагнітні коливання (поле) в анодній резонаторній системі, під дією якого відбувається фазове групування електронного потоку з утворенням спиць просторового заряду (ПЗ) і встановлюється режим стійкої генерації. Електромагнітна енергія виводиться з простору взаємодії анодної резонаторної системи через  
25 вивід енергії в навантаження, яка узгоджена з анодною резонаторною системою.

Недоліками такої конструкції магнетрона є значна нестабільність частоти електромагнітних коливань (більше  $10^{-5}$ ), велика тривалість підготовки приладу до роботи, що пов'язано з розігрівом термоемісійного катода, малий термін безвідмовної роботи катода і відносно  
30 невисока довговічність приладу (не більше 500 годин).

Відомо конструкція магнетрона, в якому замість підігрівного термоемісійного катода застосовують холодний вторинно-емісійний катод (Європатент патент EP 0593768, МПК Н 01 J 25/58, Magnetron. M.F. Kopylov and others, 1997, P.8). Даний холодний вторинно-емісійний катод розташовується співвісно анодній резонаторній системі, яка містить періодичну систему зв'язаних резонаторів. Холодний катод являє собою складну аксіально-симетричну збірну  
35 конструкцію, виконану у вигляді окремих секцій (шайб), що чергуються в аксіальному напрямку та розділені металевими тонкими дисками. Як шайби використовують пресовані металосплавні Pd-Ba (або Pt-Ba) емітери, які мають високе значення максимального коефіцієнта вторинної емісії  $\sigma_{\max} = 3,2...3,4$ .

Під дією електричного поля з зовнішньої кромки тонких металевих дисків емітуються первинні електрони завдяки автоелектронній емісії. Дані первинні електрони  
40 рухаються в просторі взаємодії анодної резонаторної системи і бомбардують Pd-Ba (або Pt-Ba) поверхню катода між дисками, викликаючи інтенсивну вторинну електронну емісію та забезпечуючи необхідний рівень щільності ПЗ для стійкої генерації магнетроном електромагнітних коливань. Енергія електромагнітних коливань виводиться за допомогою виводу енергії в навантаження, яка узгоджена з анодною резонаторною системою.

45 Недоліками даної конструкції магнетрона з холодним вторинно-емісійним катодом є складна технологія виготовлення холодного вторинно-емісійного Pd-Ba (або Pt-Ba) катода, що збільшує вартість усього виробу, нестабільність його роботи внаслідок некерованої поведінки струму автоелектронної емісії, що відбувається в результаті зміни форми країв металевих дисків в процесі роботи магнетрона.

50 Найбільш близькими з технічної суті та сукупності ознак до пропонованого технічного рішення є конструкція магнетрона з боковим катодом, в якому розділені термоемісійний і автоемісійний катоди (А. с. СССР № 392819, МКИ Н 01 J 25/58, Магнетрон с торцевой пушкой. / Вигдорчик И. М, Мяндр В. А., Науменко В. Д. // Открытия, изобретения -1973. - № 4. - С.89). Для досягнення цього в магнетроні, що містить анодну резонаторну систему, на яку подається  
55 анодна напруга з джерела анодного живлення та яка складається з цілого числа періодично пов'язаних між собою резонаторів, розміщують аксіально холодний вторинно-емісійний катод у вигляді металевий стержня, виконаного, наприклад, з міді або з нанесенням покриття з матеріалу, що має більш високе значення максимального коефіцієнта вторинної емісії (наприклад, зі сплаву Pd-Ba (або Pt-Ba)), додатково включений боковий термоемісійний катод

торцевого типу, який співвісно розміщений з холодним вторинно-емісійним катодом поблизу торця анодної резонаторної системи за межами її простору взаємодії та на який подається з додаткового джерела живлення напруга для його нагріву.

5 Електрони, що емітуються торцевою поверхнею термоемісійного катода, утворюють первинний електронний струм, який дрейфує вздовж аксіальної осі магнетрона і влітає в простір взаємодії анодної резонаторної системи. Рухаючись в аксіальному напрямку і обертаючись у азимутному напрямку по циклоїдних траєкторіях навколо холодного вторинно-емісійного катода, електрони, що утворюють первинний електронний струм, бомбардують холодний металевий вторинно-емісійного катод, викликаючи вторинну електронну емісію і збільшуючи загальну щільність ПЗ в просторі взаємодії між вторинно-емісійним катодом та анодною резонаторною системою. Сформований електронний потік збуджує в просторі взаємодії анодної резонаторної системи магнетрона електромагнітні коливання, реалізуючи режим стійкої генерації магнетрона. Енергія, яку електрони передають електромагнітному полю, виводиться через вивід енергії в узгоджене навантаження, з'єднану з одним з резонаторів анодної резонаторної системи за допомогою елемента зв'язку.

15 Недоліками даної конструкції магнетрона є її складність внаслідок наявності термоемісійного катода і додаткового джерела живлення, який здійснює запуск термоемісійного катода та забезпечує дрейф первинних електронів до анодної резонаторної системи. До недоліків даної конструкції також можна віднести значну залежність вихідних параметрів магнетрона від умов центрування термоемісійного катода, що знижує надійність роботи в реальних умовах експлуатації при незначних радіальних розмірах, в першу чергу, висоти простору взаємодії анодної резонаторної системи.

20 Таким чином, недоліками цього технічного рішення є висока трудомісткість і складна технологія виготовлення та юстирування вузлів конструкції магнетрона, велика тривалість часу його готовності до роботи та низька надійність, а також малий термін безвідмовної роботи термоемісійного катода і невисока довговічність магнетрона (не більше 500 годин).

25 В основу винаходу поставлена задача створення магнетрона з боковим холодним катодом для збільшення терміну безвідмовної роботи і довговічності магнетрона за рахунок здійснення холодного запуску первинного електронного потоку за допомогою циліндричного торцевого холодного вторинно-емісійного катода, який оточено аксіально-симетричним гладким анодом (торцева магнетронна пушка).

30 Ця задача вирішена наступним чином. У магнетрон з боковим катодом, що містить джерело анодного живлення, анодну резонаторну систему з періодично пов'язаними резонаторами, холодний вторинно-емісійний катод у вигляді металевого стержня, виконаного з матеріалу, що має високе значення максимального коефіцієнта вторинної емісії, наприклад, зі сплаву Pd-Ba (або Pt-Ba), термоемісійний катод для емісії первинних електронів, який співвісно розміщено з холодним вторинно-емісійним катодом поблизу торця анодної резонаторної системи за межами її простору взаємодії, вивід енергії і узгоджене навантаження, згідно з винаходом, як боковий термоемісійний катод торцевого типу для емісії первинних електронів використовують торцевий холодний металевий вторинно-емісійний катод, який оточений гладким анодом (торцева магнетронна пушка), а між торцями магнетронної пушки та анодної резонаторної системи розміщені  $n$  аксіально-симетричних фокусуєчих електродів, де  $n = 1, 2, 3, \dots, N$ .

35 На Фіг. 1 схематично показані поперечний переріз конструкції магнетрона з боковим катодом і електрична схема його підключення до джерела живлення, що формує напругу живлення (імпульси) для його запуску, включаючи імпульс  $U_n$ , для запуску торцевого холодного металевого вторинно-емісійного катода, напругу  $U_\phi$ , що подається на фокусуєчі електроди та анодну напругу  $U_a$ , що подається на анодну резонаторну систему. В просторах взаємодії анодної резонансної системи та магнетронної пушки існують схрещені статичні електричні ( $E_0'$  і  $E_0$ ) та магнітне  $B_0$  поля.

50 Магнетрон з боковим холодним катодом містить торцеву магнетронну пушку 1, що включає торцевий холодний металевий вторинно-емісійний катод 2 з відбивачем електронів 3, гладкий анод 4 та  $n$  фокусуєчих електродів 5, де  $n = 1, 2, 3, \dots, N$ , розташованих між магнетронною пушкою та між анодною резонаторною системою 7, яка розташована співвісно з холодним вторинно-емісійним металевим катодом 6 та містить в азимутному напрямку систему періодично пов'язаних резонаторів 8, енергія, що відбирається від електронного потоку і

накопичується в резонаторах і просторі взаємодії анодної резонаторної системи, виводиться через вивід енергії 9 в навантаження 10, а також містить джерело живлення 11.

5 Роботу магнетрона забезпечує джерело живлення 11, що формує імпульси напруги негативної полярності, які подаються на торцевий холодний металевий вторинно-емісійний катод 2 магнетронної пушки 1 і на холодний вторинно-емісійний катод 6 анодної резонаторної системи 7.

Для роботи магнетрона в аксіальному напрямку між торцевим холодним металевим вторинно-емісійним катодом 2 і гладким анодом 4 магнетронної пушки 1 і в просторі взаємодії анодної резонаторної системи 7 існує єдине постійне магнітне поле  $\vec{B}_0 = B_0 - \vec{z}_0$ .

10 Пристрій працює наступним чином.

Магнетронна пушка 1 служить для формування первинного електронного потоку. У момент часу  $t = t_0$  на торцевий холодний металевий вторинно-емісійний катод 2 магнетронної пушки 1

з джерела живлення 11 подається імпульс негативної полярності  $U_n(t)$ , форма якого включає три області: область фронту наростання при  $t_0 \leq t < t_1$ , область спаду  $t_1 \leq t < t_2$  і область

15 насичення  $t_2 \leq t < t_3$  з постійною напругою, що дорівнює  $U_{a-c} = U_n(t)$ , яке створює в просторі між холодним катодом 2 і гладким анодом 3 магнетронної пушки 1 напруженість

електростатичного поля  $E'_0 = U'_{a-c} / d'_{a-c}$ , де  $U'_{a-c}$  - напруга між катодом 2 і гладким анодом 3,  $d'_{a-c} = (r'_a - r'_c)$  - відстань між катодом і гладким анодом магнетронної пушки,  $r'_a$  і  $r'_c$  - радіуси

20 гладкого анода 2 і торцевого холодного металевого вторинно-емісійного катода 3 магнетронної пушки 1. Як відомо, (див. Churyumov GI and other, BMS 3D-Code for modeling of cold-cathode crossed field guns // Fifth IEEE International Vacuum Electronics Conference. - Monterey (USA).- 2004. - P. 238-239) на виході магнетронної пушки 1 формується азимутально-симетричний тонкий трубчастий електронний потік, що має середню лінійну азимутальну швидкість

обертання, яка дорівнює  $v = U'_{a-c} / (d'_{a-c} \cdot B_0)$ . Даний електронний потік влітає в простір

25 взаємодії анодної резонаторної системи і збуджує в її резонаторах і просторі взаємодії електромагнітне поле робочого виду коливання (наприклад,  $\pi$ - вид). Під дією електромагнітного поля відбувається процес фазового угруповання електронного потоку з утворенням спиць ПЗ. Електрони, що знаходяться в прискорюючих фазах електромагнітного поля, рухаються до холодного вторинно-емісійного катода, бомбардують його поверхню і

30 викликають процес вторинно-емісійного розмноження електронів завдяки вторинній електронній емісії. В результаті збільшується щільність ПЗ електронного потоку і росте амплітуда електромагнітного поля. Сформоване замкнуте електронне облако обертається в азимутному

напрямку з кутовою швидкістю  $\Omega_e = v_e / R_c$ , де  $R_c$  - циклотронний радіус і задовольняє умові замкнутості електронного потоку

$$35 \quad \gamma = \frac{\omega}{\Omega_e}, (1)$$

де  $\gamma$  - ціле число, яке дорівнює кількості сповільнених довжин хвиль, що укладаються уздовж азимутальної довжини анодної резонаторної системи,  $\omega = 2\pi f$  - кругова робоча частота генерації магнетрона.

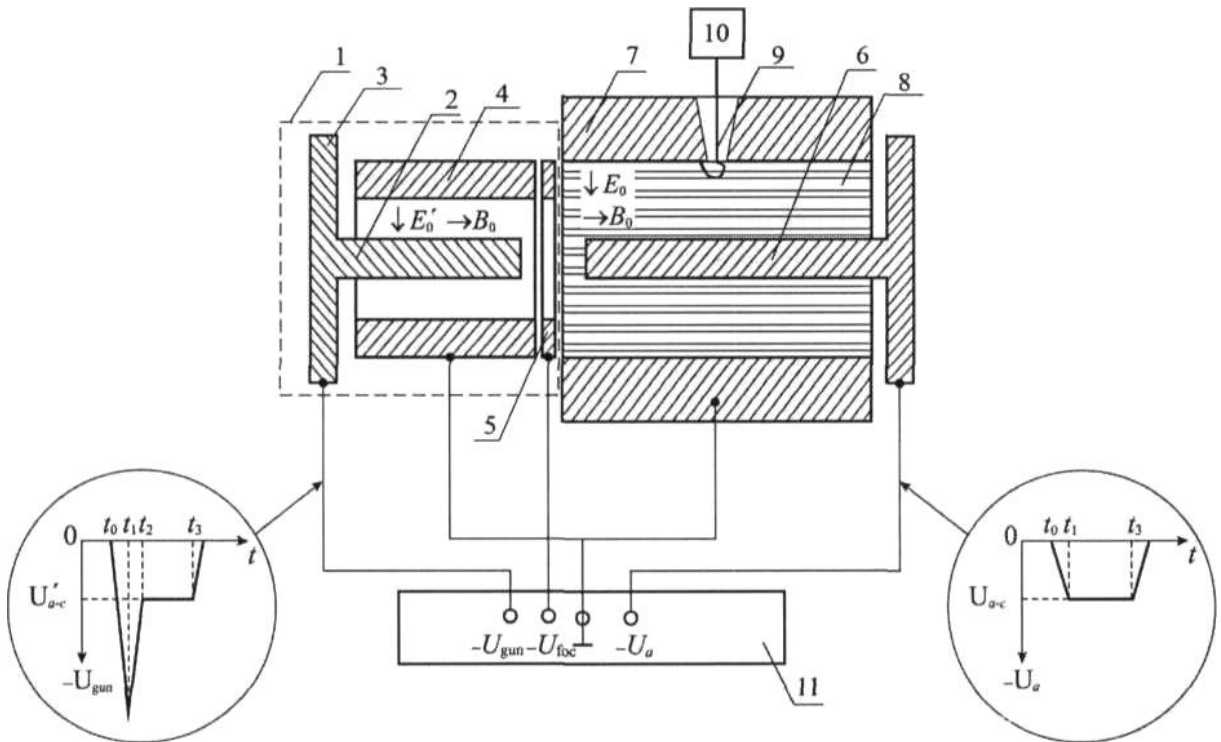
У випадку, коли виконується умова синхронізму обертання електронного потоку і коливань робочого виду магнетрона, тобто коли  $\Omega_e \approx \Omega_\pi$ , де  $\Omega_\pi$  - кутова швидкість робочого виду коливання, а також умова замкнутості електронного потоку (1), в анодній резонаторній системі збуджується ВЧ коливання робочого виду коливання (наприклад,

#### 45 ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Магнетрон з боковим холодним катодом, що містить джерело анодного живлення, анодну резонаторну систему з періодично пов'язаними резонаторами, холодний вторинно-емісійний катод анодної резонаторної системи, виконаний у вигляді металевого стержня, боковий катод для емісії первинних електронів, який співвісно розміщено з холодним вторинно-емісійним

катодом анодної резонаторної системи біля торця анодної резонаторної системи за межами її простору взаємодії, вивід енергії та узгоджене навантаження, який **відрізняється** тим, що як боковий катод для емісії первинних електронів використовують торцевий холодний металевий вторинно-емісійний катод, який оточений гладким анодом з утворенням торцевої магнетронної пушки, де між торцями магнетронної пушки та анодної резонаторної системи розміщені  $n$  аксіально-симетричних фокусуючих електродів, де  $n = 1, 2, 3, \dots, N$  ( $\pi$  - виду). ВЧ енергія, що генерується магнетроном, через вивід енергії 8 надходить в навантаження 9, яка узгоджена з анодною резонаторною системою.

Таким чином, застосування автоелектронної емісії та холодного запуску в магнетроні з боковим холодним катодом дозволяє підвищити довговічність його безвідмовної роботи (більше 10 000 годин), розширити функціональне застосування та надійність роботи магнетронів у разі їх застосування в різних системах зв'язку при генерації безперервного сигналу і перспективних радіолокаційних системах при роботі в імпульсному режимі.



Фіг. 1

Комп'ютерна верстка І. Скворцова

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,  
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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