



УКРАЇНА

(19) UA (11) 66572 (13) U
(51) МПК (2011.01)
H01J 25/00ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) МАГНЕТРОН

1

2

(21) u201107346

(22) 10.06.2011

(24) 10.01.2012

(46) 10.01.2012, Бюл.№ 1, 2012 р.

(72) ЄРЬОМКА ДАНИЛО ВІКТОРОВИЧ

(73) ЄРЬОМКА ДАНИЛО ВІКТОРОВИЧ

(57) 1. Магнетрон, який містить у собі анодний блок із отвором, по периметру якого виконано коливальний контур у вигляді періодичної структури резонаторів, коаксіально на осі отвору розташований вузол основного холодного катода із керном у вигляді круглої трубки, на поверхні якої закріплено вторинно-електронний емітер, вздовж осі трубки керна холодного катода встановлено ізольований від нього та електрично з'єднаний із джерелом напруги металевий стрижень, на якому біля торців анодного блоку закріплені фланці, які є фокусуючими екранами, при цьому, на поверхні, щонайменше, одного фланця, яка суміжна зазору анод - основний холодний катод, коаксіально керну закріплено електрично з'єднаний із фланцем, принаймні, один польовий емітер додаткового катода із фольги у вигляді плоского кільця, робоча емітуюча ділянка ребра, вершина леза якого спрямована до робочої поверхні вторинно-електронного емітера і лежить в його площині симетрії, яка перпендикулярна осі основного холодного катода, хвилевідний вивід високочастотної енергії із коливального контура у навантаження, магнітну систему, який відрізняється тим, що kern основного холодного катода виконано із металевого прутка із високою електропровідністю, на поверхні якого встановлені

фланці, кожний на відстані $\frac{\lambda}{30} + s \leq d \leq \frac{\lambda}{4} + s$ (де λ

- довжина робочої хвилі у вільному просторі) від торців анодного блоку, між фланцями закріплено вторинно-електронний емітер із електропровідного

емісійно-активного матеріалу, плоске кільце польового емітера виготовлене із фольги товщиною $100 \text{ мкм} \leq s \leq 1000 \text{ мкм}$, електрично з'єднане із джерелом напруги і закріплене через ізолятор на суміжній із зазором анод - основний холодний катод поверхні, принаймні, одного фланця, робоча емітуюча ділянка польового емітера, яка спрямована до поверхні вторинно-електронного емітера, по периметру виконана у вигляді періодичної структури рівновисоких гострокутових виступів із періодом $p \geq 6h$, де h - висота гострокутових виступів, при цьому ребра вершин лез гострокутових виступів, робочі ділянки яких емітують первинні електрони, паралельні осі основного холодного катода.

2. Магнетрон за п. 1, який відрізняється тим, що плоскі кільця польового емітера виготовлені із одного із тугоплавких металів, переважно Mo, Nb, Ta, W, або їх сплавів із домішками активаторів у вигляді одного або декількох лужноземельних металів Ba, Sr, Ca.

3. Магнетрон за п. 1, який відрізняється тим, що плоскі кільця польового емітера виготовлені із високолегованого напівпровідника, покритого ультратонкою діелектричною плівкою, наприклад, діамантовою плівкою, діамантоподібною плівкою або плівкою із діамантоподібного вуглецю.

4. Магнетрон за пп. 1-3, який відрізняється тим, що ділянки вторинно-електронного емітера основного холодного катода, які розташовані під періодичними структурами рівновисоких гострокутових виступів плоских кілець польових емітерів, покриті плівкою матеріалу із коефіцієнтом вторинної емісії, більшим, ніж коефіцієнт вторинної емісії вторинно-електронного емітера холодного катода, наприклад, металу, високолегованого напівпровідника, діелектрика.

Корисна модель належить до електроніки край високих частот (КВЧ) і може знайти широке використання в електровакуумних джерелах електромагнітних коливань М-типу, а саме в магнетронах субміліметрового діапазону довжин хвиль із малим

терміном готовності та великим терміном безвідмовної роботи.

Потужні когерентні електромагнітні коливання в міліметровому діапазоні довжин хвиль отримують, зокрема, з допомогою ефективних електровакуумних автогенераторів М-типу, таких, напри-

(19) UA (11) 66572 (13) U

клад, як магнетрон. Магнетрон є одним із самих простих і ефективних автогенераторів електромагнітних коливань. В магнетроні повний робочий струм складається із двох складових - струму первинних електронів - струму збудження та струму вторинно-електронної емісії. Струмом первинних електронів є або струм термоелектронної емісії, або струм польової (автоелектронної) емісії. В традиційних магнетронах короткохвильових діапазонів струм збудження і робочий струм генератора забезпечують, як правило, за допомогою основних катодів із термоелектронним емітером (термокатодів). Термін готовності до роботи магнетрона із термокатодом складає десятки секунд - одиниці хвилин. Окрім цього, магнетрони із термокатодом мають порівняно невеликий термін безвідмовної роботи - декілька сотень годин, обумовлений втратою емісійної здатності термоелектронного емітера внаслідок додаткового його перегрівання при бомбардуванні зворотними електронами. Тривалий термін готовності та порівняно невеликий термін безвідмовної роботи відносять до суттєвих недоліків магнетронів із термокатодом. Усунути вказані недоліки прагнуть шляхом створення магнетрона із холодним (без розжарювання) катодом.

Для стимулювання емісії із вторинно-електронних емітерів з метою формування робочого струму в магнетронах із холодним катодом використовують первинні електрони, які емітують за допомогою додаткових термоелектронних або польових (автоелектронних) емітерів.

Відомий магнетрон (Патент США № 3109123, МКВ Н01J 25/50, Магнетрон. 1962 р.), який містить у собі анодний блок із отвором, по периметру якого виконано коливальний контур у вигляді періодичної структури резонаторів, холодний катод, розташований коаксіально на осі отвору, в конструкції якого для отримання струму запуску та робочого струму, а також для концентрації електричного поля, частину робочої поверхні виконано у вигляді дисків із загостреними окрайками та з розташованою на окрайках великою кількістю тонких голок. В цьому ж магнетроні із тією ж метою на кожному торці холодного катода встановлено екран спеціальної форми. На екрани подають різні потенціали відносно керна катода.

Недоліками вказаного магнетрона є недостатня ефективність процесу накопичення просторового заряду внаслідок його "розлітання" вздовж осі простору взаємодії, а також відсутність можливості забезпечити стабільну польову емісію електронів, внаслідок зміни форми вістря голок та погіршення їх так званого формфактору в процесі роботи магнетрона, що призводить до зменшення інтенсивності електричного поля на вершинах голок. Крім того, наявність великої кількості тонких металевих голок та необхідність їх закріплення на гострих окрайках суттєво ускладнює конструкцію та технологію відтворення холодного катода.

Відомий також магнетрон, який містить у собі анодний блок із отвором, по периметру якого виконано коливальний контур у вигляді періодичної структури резонаторів, розташований коаксіально на осі отвору основний холодний катод із вторинно-електронним емітером для емісії робочого

струму, додатковий катод із термоелектронним емітером, розташований на одному із торців анодного блоку для забезпечення емісії струму запуску (Авт. св. СССР №324937. МПК Н01J 25/58. Магнетрон с боковым катодом. Приоритет от 8 августа 1947 г. / И.М. Вигдорчик // Открытия. Изобретения. - 1972, №22. - С. 155).

Недоліками вказаного магнетрона є наявність додаткового катода із термоелектронним емітером та додаткового джерела живлення для нагрівання тіла емітера електронів, що суттєво впливає на термін безвідмовної роботи генератора та погіршує масогабаритні характеристики радіоапаратури, в якій він використовується.

Найбільш близьким за технічною сутністю та сукупністю ознак до даного технічного рішення аналогом (прототипом) є магнетрон (Патент Російської Федерації №2136076. Магнетрон. М.кл⁶. Н01J 25/50, 1998 г.), який містить у собі анодний блок із отвором, по периметру якого виконано коливальний контур у вигляді періодичної структури резонаторів, коаксіально на осі отвору розташований вузол основного холодного катода із керном у вигляді круглої трубки, на поверхні якої закріплено вторинно-електронний емітер, вздовж осі трубки керна встановлено ізолюваний від нього та електрично з'єднаний із джерелом напруги металевий стержень, на якому біля торців анодного блоку закріплені фланці, які є фокусуючими екранами, при цьому, на поверхні, щонайменше, одного із фланців, суміжній зазору анод - основний холодний катод, коаксіально холодному катоду закріплено електрично з'єднаний із фланцем, принаймні, один польовий емітер додаткового катода із металевої фольги у вигляді кільця, площа симетрії якого перпендикулярна осі трубки керна, а емітующий робочий торець його леза спрямований перпендикулярно осі холодного катода. Робочий торець леза польового емітера додаткового катода, електрично з'єднаного, принаймні, із одним фланцем, емітує струм первинних електронів - струм для запуску магнетрона.

Суттєвими недоліками конструкції магнетрона - прототипу є: 1) закріплення фланців - фокусуючих екранів на ізолюваному від холодного катода металевому стержні зменшує надійність вузла холодного катода, що обумовлено невеликим зазором між польовим і вторинно-електронним емітерами та можливістю появи між ними електричного контакту (закорочування) в разі механічної вібрації;

2) із зменшенням довжини робочої хвилі, наприклад, в терагерцовому інтервалі частот, в короткохвильових магнетронах зростають омичні втрати у коливальному контурі, що обумовлено НВЧ скін-ефектом, та суттєво зростає величина струму запуску (стартового току). Внаслідок вказаної обставини величини струму емісії первинних електронів із польового емітера в магнетроні-прототипі буде недостатньо для миттєвого запуску автоколивального процесу у зв'язку із тим, що емітери основного та додаткового катодів в момент запуску мають незначну площу емітующої робочої поверхні, тобто мають невелику миттєву емісійну спроможність.

В основу корисної моделі поставлено задачу удосконалити магнетрон шляхом збільшення миттєвої емісійної спроможності додаткового катода із польовим емітером та основного холодного катода із вторинно-електронним емітером для забезпечення миттєвого запуску процесу генерації електромагнітних коливань в магнетронах терагерцового інтервалу частот, що збільшить надійності їх роботи та генерування ними стійких електромагнітних коливань при робочій напрузі біля 2-5 кВ та довжині імпульсів десятки наносекунд - одиниці мікросекунд.

Поставлена задача вирішується тим, що в магнетроні, який містить у собі анодний блок із отвором, по периметру якого виконано коливальний контур у вигляді періодичної структури резонаторів, коаксіально на осі отвору розташований вузол основного холодного катода із керном у вигляді круглої трубки, на поверхні якої закріплено вторинно-електронний емітер, вздовж осі трубки керн холодного катода встановлено ізольований від нього та електрично з'єднаний із джерелом напруги металевий стрижень, на якому біля торців анодного блоку закріплені фланці, які є фокусуючими екранами, при цьому, на поверхні, щонайменше, одного фланця, яка суміжна зазору анод - основний холодний катод, коаксіально керну закріплено електрично з'єднаний із фланцем, принаймні, один польовий емітер додаткового катода із фольги у вигляді плоского кільця, робоча емітуюча ділянка ребра вершини леза якого спрямована до робочої поверхні вторинно-електронного емітера і лежить в його площині симетрії, яка перпендикулярна осі основного холодного катода, хвилевідний вивід високочастотної енергії із коливального контура у навантаження, магнітну систему, згідно із корисною моделлю, керн основного холодного катода виконано із металевого прутка із високою електропровідністю, на поверхні якого встановлені фланці, кожний на відстані $\frac{\lambda}{30} + s \leq d \leq \frac{\lambda}{4} + s$ (де λ - довжини

на робочої хвилі у вільному просторі) від торців анодного блоку, між фланцями закріплено вторинно-електронний емітер із електропровідного емісійно-активного матеріалу, плоске кільце польового емітера виготовлене із фольги товщиною 100 мкм $s \leq 1000$ мкм, електрично з'єднане із джерелом напруги і закріплене через ізолятор на суміжній із зазором анод - основний холодний катод поверхні, принаймні, одного фланця, робоча емітуюча ділянка польового емітера, яка спрямована до поверхні вторинно-електронного емітера, по периметру виконана у вигляді періодичної структури рівновисоких гострокутових виступів із періодом $p \geq 6h$, де h - висота гострокутових виступів, при цьому ребра вершин лез гострокутових виступів, робочі ділянки яких емітують первинні електрони, паралельні осі основного холодного катода.

У другому варіанті запропонованої корисної моделі плоскі кільця польового емітера додаткового катода магнетрона виготовлені із одного із тугоплавких металів, переважно Mo, Nb, Ta, W, або їх сплавів із домішками активаторів у вигляді одного або декількох лужноземельних металів Ba, Sr, Ca.

У третьому варіанті запропонованої корисної моделі плоскі кільця польового емітера додаткового катода магнетрона виготовлені із високолегованого напівпровідника, покритого ультратонкою діелектричною плівкою, наприклад, діамантовою плівкою, діамантоподібною плівкою, або плівкою із діамантоподібного вуглецю.

У четвертому варіанті запропонованої корисної моделі ділянки вторинно-електронного емітера основного холодного катода магнетрона, які розташовані під періодичними структурами рівновисоких гострокутових виступів плоских кілець польових емітерів, ребра вершин лез яких паралельні осі холодного катода, покриті плівкою матеріалу із коефіцієнтом вторинної емісії більшим, ніж коефіцієнт вторинної емісії вторинно-електронного емітера холодного катода, наприклад, металу, високолегованого напівпровідника, діелектрика.

Прийнятливо-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак корисної моделі, що заявляються, та технічним результатом, що досягається, полягає в наступному.

Виготовлення плоских кілець польового емітера із фольги товщиною $100 \text{ мкм} \leq s \leq 1000 \text{ мкм}$ та закріплення їх через ізолятор на фланцях, які встановлені на керні холодного катода, збільшує надійність миттєвого запуску автоколивального процесу в магнетроні. Закріплення кілець польового емітера із фольги через ізолятор на фланцях створює фокусуючі екрани на відстані $\frac{\lambda}{30} + s \leq d \leq \frac{\lambda}{4} + s$ від торців анодного блоку, сприяє ефективному накопиченню електронів у просторі взаємодії магнетрона та суттєво зменшує дифракційні втрати високочастотної енергії із коливального контура магнетрона.

Виконання по периметру робочої ділянки польового емітера, спрямованої до поверхні вторинно-електронного емітера періодичної структури у вигляді рівновисоких гострокутових виступів із періодом $p \geq 6h$, де h - висота гострокутових виступів, при цьому ребра лез гострокутових виступів паралельні осі холодного катода, виключає можливість екранування емітуючих лез одне одного, збільшує робочу поверхню польової емісії, величину струму первинних електронів та забезпечує миттєвий запуск процесу магнетрона при величині анодної напруги 2-5 кВ та при скороченні довжини робочої хвилі.

Закріплення плоских кілець польових емітерів на двох фокусуючих екранах збільшує величину струму первинних електронів та вірогідність миттєвого запуску процесу генерації електромагнітних коливань при скороченні довжини робочої хвилі магнетрона.

Електричне з'єднання польових емітерів, ізольованих від фланців, із джерелом напруги, забезпечує керування енергією первинних електронів та темпом розвитку процесу вторинно-електронного розмноження і отримання робочого струму магнетрона. Таким чином забезпечується миттєвий запуск процесу генерації електромагнітних коливань при скороченні довжини робочої хвилі магнетрона та при зменшенні величини анодної напруги до 2-5 кВ.

Покриття діелектричними плівками гострокутових виступів польових емітерів збільшує величину струму первинних електронів та надійність миттєвого запуску магнетрона при невеликих анодних напругах 2-5 кВ.

Покриття ділянок вторинно-електронного емітера основного холодного катода, розташованих під лезами гострокутових виступів польових емітерів плівками матеріалів із коефіцієнтом вторинної емісії більшим, ніж коефіцієнт вторинної емісії вторинно-електронного емітера холодного катода, суттєво збільшує величину струму запуску та вірогідність миттєвого запуску магнетрона, а також надійність його роботи при анодних напругах 2-5 кВ та при довжинах імпульсів десятки наносекунд - одиниці мікросекунд.

Суть корисної моделі пояснюється ілюстраціями. На фіг. 1 показано у розтині основні вузли магнетрона, в якому один фланець з'єднаний через ізолятор із плоским кільцем польового емітера, на фіг. 2 - показано у розтині основні вузли магнетрона, в якому бокові фланці, із закріпленими на них через ізолятор плоскими кільцями польового емітера, створюють два фокусуючі екрани, на фіг. 3 представлені результати математичного моделювання розподілення електричного поля між вторинно-електронним та польовим емітерами, на фіг. 4 представлені результати математичного моделювання струму первинних електронів із металевих лез польового емітера (1), а також із металевих лез покритих алмазною плівкою (2).

Магнетрон містить у собі анодний блок 1 із круглим отвором, по периметру якого виконана періодична структура резонаторів 2, коаксіально розташований у ньому з зазором вузол основного холодного катода 3 у вигляді круглого стрижня, на поверхні якого закріплено вторинно-електронний емітер 4, а на торцях анодного блоку 1 розташовані фланці 5, через ізолятори 6 із фланцями 5 скріплені плоскі кільця польових емітерів 7, які електрично з'єднані із джерелом напруги (на фіг. 1 не показано). Польові емітери об'єднані із фланцями створюють фокусуючі екрани. Резонаторна структура 2 має хвилевідний вивід 8 високочастотної енергії у навантаження. На половий емітер 7 подають електричну напругу за допомогою ізольованого від корпусу магнетрона виводу 9. Вторинно-електронний емітер 4 і польові емітери 7 встановлені один від другого на відстані, яка забезпечує напруженість електричного поля на поверхні емісійних зон, достатню для отримання автоелектронної емісії, а саме 10^7 В/см. Магнітна система на фігурах не показана.

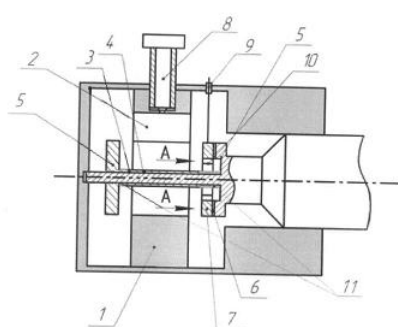
Магнетрон працює наступним чином. Струм збудження магнетрона забезпечують за рахунок польової емісії із лез гострокутових виступів 10 польових емітерів 7, спрямованих до поверхні вторинно-електронного емітера 4 основного холодного катода, при подачі на них електричної напруги. Польова (автоелектронна) емісія - тунелювання первинних електронів із лез 10 викликається завдяки великій (10^7 В/см) напруженості електричного поля на вершинах їх ребер за рахунок прикладеної різниці потенціалів (імпульсної напруги, наприклад, 1000 В) між основним холодним катодом 3 і польовими емітерами 7 додаткового катода.

Електрони, тунельовані під дією високої напруженості електричного поля із емісійних ділянок у вигляді вершин ребер гострокутних виступів (лез) польових емітерів 7, рухаючись по складних траєкторіях у постійному повздовжньому магнітному полі, прискорюються, бомбардують площини кінцевих ділянок 11 вторинно-електронного емітера 4 основного холодного катода 3 та стимулюють вторинно-електронну емісію. Первинні електрони вибивають із кінцевих ділянок 11 вторинно-електронного емітера 4 холодного катода 3 хмару вторинних електронів, які під дією статичних схрещених електричного E і магнітного B полів рухаються по траєкторіях у вигляді епіциклоїд від однієї кінцевої ділянки 11 до другої, створюючи електронну втулку в проміжку між анодом 1 та холодним катодом 3. Частки "електронної втулки", рухаючись, в тому числі і вздовж осі простору взаємодії, на кінцевих ділянках 11 вторинно-електронного емітера 4 холодного катода 3 біля торців анодного блоку (поруч із фланцями 5 на фіг. 1), де напруженість анодного електричного поля спадає, здобувають додаткову енергію і бомбардують робочу поверхню кінцевих ділянок 11 вторинно-електронного емітера 4 основного холодного катода 3, збільшуючи струм вторинних електронів та щільність просторового заряду в "електронній втулці". Кулонівські сили неоднорідної по щільності просторового заряду "електронної втулки" сприяють лавинному бомбардуванню зарядженими частками вторинно-електронного емітера 4 холодного катода 3 та ефективному лавинному розмноженню вторинних електронів на всій робочій поверхні вторинно-електронного емітера 4. Покриття лез періодичної структури гострокутових виступів польових емітерів 10 тонкою плівкою діелектрика (діамантовою, діамантоподібною або плівкою із діамантоподібного вуглецю), забезпечує можливість роботи магнетрона при вакуумі 10^{-5} мм рт. ст. Таким чином забезпечується ефективний процес розмноження вторинних електронів та отримання достатнього робочого струму приладу для генерування потужних електромагнітних коливань в процесі взаємодії із хвилями електромагнітного поля поблизу робочої поверхні періодичної структури резонаторів анодного блоку 1 магнетрона. Високочастотна електромагнітна енергія, що накопичена в коливальному контурі магнетрона в процесі електронно-хвильової взаємодії, виводиться у навантаження за допомогою хвилевідного виводу 8.

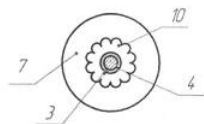
Математичне моделювання за допомогою сучасних персональних комп'ютерів процесу запуску запропонованого магнетрона із основним холодним катодом і вторинно-електронним емітером та запропонованим додатковим польовим емітером підтверджує, що при вибраній величині періоду p періодичної структури гострокутових виступів польового емітера відсутній ефект екранування дії статичного електричного поля суміжних виступів (фіг. 3). Покриття емітуючих зон ребер вершин гострокутових виступів польового емітера із тонкою діелектричною плівкою (наприклад, алмазоподібною) забезпечує суттєве збільшення стру-

му первинних електронів (фіг. 4). На фіг. 4 представлені результати моделювання вольтамперної характеристики додаткового катода із періодичною структурою гострокутових виступів плоского кільця польового емітера із Мо (1) і із Мо покритого тонкою алмазоподібною плівкою (2). Вольтамперна характеристика (фіг. 4) підтверджує, що в запропонованому технічному рішенні додатковий катод із польовими емітерами у вигляді періодичної структури гострокутових виступів може забезпечити струм первинних електронів - струм запуску достатній для раптового збудження автоколивального процесу в короткохвильовому магнетроні терагерцового інтервалу частот, наприклад, у магнетроні субміліметрового діапазону.

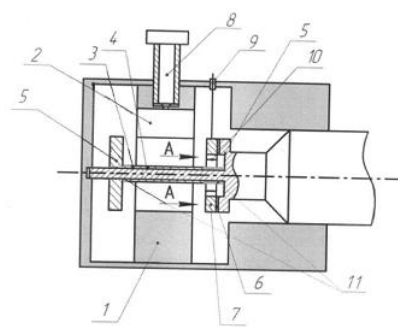
Для створених у відповідності із формулою корисної моделі магнетронів характерною є раптова готовність (готовність із першого імпульсу), висока надійність запуску і імпульсного генерування електромагнітних коливань (без пропуску імпульсів), в тому числі при робочій анодній напрузі менше 5 кВ, можливість без інерційного переходу від імпульсного режиму із малим коефіцієнтом заповнення до імпульсного режиму із великим коефіцієнтом заповнення та навпаки, високою економічністю, довготривалістю дії більше 10000 годин. Використання такого магнетрона в НВЧ передавачах радарів нового покоління дозволить суттєво спростити їх схему живлення, зменшити габарити та масу.



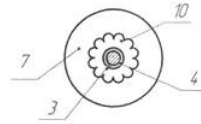
A-A



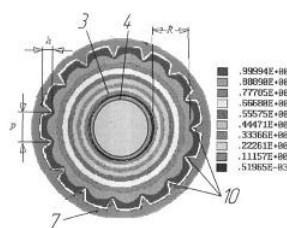
Фиг. 1



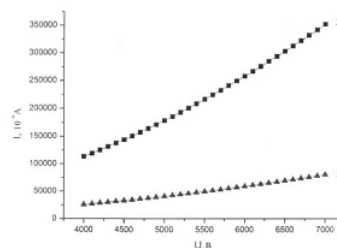
A-A



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4