



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 87042

(13) C2

(51) МПК (2009)

H01J 25/00

H01J 1/30

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) МАГНЕТРОН

1

2

(21) а200710485

(22) 21.09.2007

(24) 10.06.2009

(46) 10.06.2009, Бюл.№ 11, 2009 р.

(72) ЄРЬОМКА ВІКТОР ДАНИЛОВИЧ, UA, КО-
ПОТЬ МИХАЙЛО АНДРІЙОВИЧ, UA, КУЛАГІН
ОЛЕГ ПАВЛОВИЧ, UA, НАУМЕНКО ВАСИЛЬ
ДМИТРОВИЧ, UA

(73) ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ
ІМ. О.Я.УСИКОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НА-
УК УКРАЇНИ, UA

(56) RU 2051439 C1, 27.12.1995

RU 94009675 A1, 27.10.1995

RU 2007777 C1, 15.02.1994

RU 2183363 C2, 10.02.2000

US 6005347 A, 21.12.1999

US 5382867, 17.01.1995

(57) 1. Магнетрон, який містить анод із циліндрич-
ним отвором, по периметру якого розташована
періодична система резонаторів, коаксіально яко-
му із зазором встановлено вузол основного холо-
дного катода у вигляді трубки, на поверхні якої
закріплено тіло вторинно-електронного емітера, а
на торцях - фланці, які є фокусуючими екранами,
додатковий катод із елементами тіла емітера
польової емісії, який відрізняється тим, що ділян-
ки тіла вторинно-електронного емітера основного
холодного катода, суміжні з фланцями, виконані у
вигляді зрізаних кругових конусів, менші основи
яких збігаються із площинами фланців, а уздовж
осі трубки основного холодного катода встановле-
но ізолюваний від нього та з'єднаний із джерелом
напруги електрод, на якому закріплено принаймні
один елемент тіла польового емітера, який прохо-
дить через принаймні один отвір, виконаний при-
наймні в одному фланці, і вісь симетрії елемента
тіла польового емітера проходить паралельно осі
електрода та проходить через середину відповід-
ної твірної зрізаного конуса, під кутом θ до неї,
при цьому між анодом і зоною емісії елемента тіла
польового емітера встановлена відстань, яка за-
безпечує напруженість електричного поля на ро-
бочій поверхні зони, достатню для реалізації
польової емісії, а вторинно-електронний емітер
виконаний з матеріалу, що забезпечує максималь-
ний коефіцієнт вторинної емісії при бомбардуванні
польовими електронами.

2. Магнетрон за п.1, який відрізняється тим, що
робоча поверхня тіла вторинно-електронного емі-
тера виконана гофрованою у вигляді різьби.

3. Магнетрон за одним із пп.1, 2, який відрізня-
ється тим, що отвори у фланцях виконані у вигля-
ді кругових циліндричних отворів.

4. Магнетрон за одним із пп.1, 2, який відрізня-
ється тим, що отвори у фланцях виконані у вигля-
ді щілин, які витягнуті по азимуту фланців.

5. Магнетрон за одним із пп.1, 2, який відрізня-
ється тим, що отвори у фланцях виконані у вигля-
ді щілин, які витягнуті вздовж радіусів фланців.

6. Магнетрон за п.3, який відрізняється тим, що
кожний елемент тіла польового емітера виконано у
вигляді вістря, при цьому осі вістер та кругових
циліндричних отворів у фланцях співпадають.

7. Магнетрон за одним із пп.4, 5, який відрізня-
ється тим, що елементи тіла польового емітера
виконані у вигляді лез, площини симетрії яких
співпадають із площинами симетрії щілин у флан-
цях.

8. Магнетрон за одним із пп.6, 7, який відрізня-
ється тим, що елементи тіла польового емітера
виконані із тугоплавких металів, переважно Mo,
Nb, Ta, W, із домішками активаторів у вигляді од-
ного або декількох лужноземельних металів Ba,
Sr, Ca.

9. Магнетрон за одним із пп.6, 7, який відрізня-
ється тим, що елементи тіла польового емітера
виконані із сплавів тугоплавких металів із доміш-
ками лужноземельних металів Ba, Sr, Ca.

10. Магнетрон за одним із пп.6, 7, який відрізня-
ється тим, що елементи тіла польового емітера
виконані із високолегованого кремнію.

11. Магнетрон за одним із пп.6, 7, який відрізня-
ється тим, що елементи тіла польового емітера
виконані із діамантоподібного вуглецю.

12. Магнетрон за одним із пп.6, 7, який відрізня-
ється тим, що елементи тіла польового емітера
виконані із діаманта.

13. Магнетрон за одним із пп.8-10, який відрізня-
ється тим, що елементи тіла польового емітера
покриті ультратонкою діелектричною плівкою, на-
приклад діамантовою плівкою, діамантоподібною
плівкою або плівкою із діамантоподібного вуглецю.

(13) C2

(11) 87042

(19) UA

Винахід відноситься до електроніки надвисоких частот (НВЧ) і може знайти широке використання в джерелах електромагнітних коливань М-типу, а саме, в магнетронах короткохвильових діапазонів із малим терміном готовності та великим терміном безвідмовної роботи. Потужні когерентні електромагнітні коливання в міліметровому діапазоні довжин хвиль (МДДХ) отримують, зокрема, за допомогою ефективних електровакуумних автогенераторів М-типу, таких, наприклад, як магнетрон. В магнетронах повний робочий струм складається із двох складових - струму збудження та струму вторинної емісії. Струмом збудження є або струм термоелектронної емісії, або струм польової (автоелектронної) емісії. В традиційних магнетронах МДДХ струм збудження і робочий струм генератора забезпечують, як правило, за допомогою термоелектронних катодів. Термін готовності до роботи магнетрона із термоелектронним катодом (термокатодом) складає десятки секунд - одиниці хвилин. Окрім того, магнетрони із термокатодом мають порівняно невеликий термін безвідмовної роботи - декілька сотень годин, обумовлений втратою емісійної здатності термоелектронного катоду внаслідок додаткового перегрівання його емітера при бомбардуванні зворотними електронами. Тривалий термін готовності та порівняно невеликий термін безвідмовної роботи відносять до суттєвих недоліків магнетронів МДДХ 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 отримують за допомогою додаткових термоелектронних або польових (автоемісійних) емітерів.

Відомий магнетрон [Патент США №3109123, МКІ Н01J25/50, Магнетрон. 1962р.], який містить у собі анод із отвором" по периметру якого виконана періодична система резонаторів, розташований коаксіально на осі отвору холодний катод, в конструкції якого для отримання струму запуску та робочого струму, а також для концентрації електричного поля частину поверхні холодного катоду 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 катоду встановлено екран спеціальної форми. На ці 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 катода.

Відомий також магнетрон, який містить у собі анод із отвором, по периметру якого виконана періодична система резонаторів, розташований коаксіально на осі отвору холодний вторинно-емісійний катод для генерації робочого струму, в якому для одержання струму запуску використовують додатковий боковий катод із термоелектронним емітером [(Авт. св. СССР №324937. МПК Н01J25/58. Магнетрон с боковым катодом. Приоритет от 8 августа 1947г.) / И.М.Вигдорчик // Открытия. Изобретения. - 1972, №22. - С.155].

Недоліками вказаного магнетрона є наявність додаткового термоелектронного катоду та додаткового джерела живлення для забезпечення емісійної спроможності його емітера, 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 Российской Федерации №2007777. Магнетрон. М.кл.⁵ Н01J 25/50, 1994г.], який містить у собі анод із круглим отвором, по периметру якого виконана періодична система резонаторів, коаксіально на осі отвору закріплено холодний катод, до складу якого входять елементи основного вторинно-електронного і додаткового польового емітерів. Елементи тіла вторинно-електронного основного емітера в такому магнетроні забезпечують емісію робочого струму генератора внаслідок процесу вторинно-електронного розмноження, а елементи тіла додаткового польового емітера - струм тунельованих первинних електронів - струм запуску процесу вторинно-електронного розмноження, вторинно-електронної емісії та процес генерування електромагнітних коливань.

Така конструкція магнетрона забезпечує генерування імпульсної потужності високочастотних електромагнітних коливань 5...50кВт у 2-см та 3-см діапазонах довжин хвиль, характеризується миттєвою готовністю до роботи, значним терміном безвідмовної роботи (біля 3000 годин), можливістю раптового переходу від режиму із малим коефіцієнтом заповнення до режиму з великим коефіцієнтом заповнення та навпаки, підвищеною економічністю внаслідок відсутності споживання потужності в ланцюгу розжарювання, невеликими габаритами та масою.

Недоліками конструкції магнетрона - прототипу є: 1) відсутність можливості генерування електромагнітних коливань при робочій напрузі менше 6кВ, що обумовлено недостатньою величиною струму запуску, тунельованого елементами тіла польового емітера; 2) відсутність можливості зменшити екранування робочої поверхні вторинно-електронного емітера, а саме спроможних до емі-

сії частин поверхні елементів його тіла у вигляді циліндричних втулок, які суміжні з елементами тіла польового емітера у вигляді тонких металевих суцільних плоских кілець. Наслідком екранування (створення тіні) є відсутність дії напруженості електричного поля на частині робочої поверхні вторинно-електронного емітера поблизу торців циліндричних втулок, тобто фактичне виключення затіненої поверхні вторинно-електронного емітера із емісійного процесу, що призводить до зменшення робочого струму магнетрона; 3) товщина фольги елементів тіла польового емітера первинних електронів у вигляді суцільних плоских кілець із тугоплавких металів, обумовлює їх недостатню механічну міцність та стійкість форми при дії пондермоторних сил у полі потужних електромагнітних коливань надвисокої частоти (НВЧ), ускладнює технологію відтворення холодного катоду; 4) зони емісії первинних електронів (автоелектронів) елементів тіла польового емітера знаходяться безпосередньо в просторі між анодом та холодним катодом, що створює умови для прискореної ерозії елементів тіла польового емітера у вигляді суцільних плоских кілець під дією заряджених часток, які рухаються між кінцевими областями холодного катоду, що призводить до зменшення величини струму польової емісії (струму запуску) та надійності запуску процесу ефективної генерації електромагнітних коливань, терміну безвідмовної роботи холодного катоду та магнетрону в цілому.

В основу винаходу поставлено задачу удосконалити магнетрон шляхом збільшення емісійної спроможності основного катоду із холодним вторинно-електронним емітером та додаткового катоду із польовим емітером, що забезпечить збільшення надійності роботи магнетрона у вакуумі 10^{-6} мм рт.ст., та генерування ним стійких електромагнітних коливань при робочій напрузі меншій 6кВ і довжині імпульсів десятих наносекунд.

Поставлена задача вирішується тим, що в магнетроні, який містить у собі анод із циліндричним отвором, по периметру якого розташована періодична система резонаторів, коаксіально якому із зазором встановлено вузол основного холодного катоду у вигляді трубки, на поверхні якої закріплено тіло вторинно-електронного емітера, а на торцях - фланці, які є фокусуючими екранами, додатковий катод із елементами тіла емітера польової емісії, згідно із винаходом, ділянки тіла вторинно-електронного емітера холодного катоду, суміжні із фланцями, виконані у вигляді зрізаних кругових конусів, менші основи яких співпадають із площинами фокусуючих екранів, а уздовж осі трубки основного холодного катоду встановлено ізольований від нього та з'єднаний із джерелом напруги електрод, на якому закріплено, принаймні один елемент тіла польового емітера, який проходить через, принаймні, один отвір, виконаний, принаймні, в одному фланці, і осі симетрії елементів тіла польового емітера проходять паралельно осі приладу під кутом θ до відповідної утворюючої зрізаних конусів через її середину, при якому матеріал вторинно-електронного емітера забезпечує максимальний коефіцієнт вторинної емісії при бомбардуванні польовими електронами, при цьому між

анодом і зонами емісії елементів тіла польового емітера встановлена відстань, яка забезпечує напруженість електричного поля на робочій поверхні зон, достатню для реалізації польової емісії.

Отвори у бокових фланцях мають форму кругових циліндрів, форму щілин, витягнутих по азимуту фланців, або форму щілин, витягнутих вздовж радіусів фланців.

Робоча поверхня тіла вторинно-електронного емітера виконана гофрованою у вигляді різьби.

Елементи тіла польового емітера, які забезпечують емісію первинних електронів, можуть бути виконані із одного з тугоплавких металів, переважно Mo Nb, Ta, W, із домішками металів активаторів, зокрема одного або декількох лужноземельних металів Ba, Sr, Ca, або із сплавів вказаних тугоплавких металів із домішками металів-активаторів.

Елементи тіла польового емітера, які забезпечують емісію первинних електронів, можуть бути виконані із високолегованого кремнію.

Елементи тіла польового емітера, які забезпечують емісію первинних електронів, можуть бути виконані із тугоплавких металів, переважно Mo Nb, Ta, W, з домішками активаторів, зокрема одного або декількох лужноземельних металів Ba, Sr, Ca, або із сплавів вказаних тугоплавких металів та металів активаторів, або із високолегованого кремнію та покриті ультратонкою діелектричною плівкою, наприклад, діамантовою плівкою (ДП), діамантоподібною плівкою (ДПП), або плівкою із діамантоподібного вуглецю (ДПВ).

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак винаходу, що заявляються, та технічним результатом, що досягається полягає в наступному. Виконання ділянок вторинно-електронного емітера основного холодного катоду, суміжних із фланцями, у вигляді зрізаних кругових конусів, менші основи яких співпадають із площинами фокусуючих екранів, забезпечує інтенсифікацію процесу вторинно-електронного розмноження заряджених часток в кінцевих областях вторинно-електронного емітера основного холодного катоду, зменшує термін (вимірюється кількістю періодів НВЧ коливань, які генерує магнетрон) накопичення щільного просторового заряду в просторі взаємодії магнетрону та збільшує надійність запуску процесу генерації електромагнітних коливань.

Виконання робочої поверхні тіла вторинно-електронного емітера гофрованою у вигляді різьби забезпечує збільшення струму вторинно-електронної емісії, тобто робочого струму магнетрону на 30-40%, порівняно із гладкою робочою поверхнею тіла вторинно-електронного емітера основного холодного катоду.

Встановлення вздовж осі трубки катоду ізольованого від нього електроду, на якому закріплено елементи польового емітера, які проходять через, принаймні, один отвір, виконаний, принаймні, в одному фокусуючому фланці, забезпечує можливість розташування елементів тіла польового емітера поза межами простору взаємодії магнетрона і таким чином забезпечує захист їх від руйнівної дії пондермоторних сил та електроерозії зарядженими частками, а також запобігає

екранування робочої поверхні тіла вторинно-електронного емітера.

Закріплення елементів тіла польового емітера на електроді, ізольованому від трубки основного холодного катоду, на якій закріплене тіло вторинно-електронного емітера, при цьому електрод, з'єднаний із джерелом напруги, забезпечує ефективне керування величиною енергії первинних електронів, тунельованих із емісійних елементів тіла польового емітера, та суттєво збільшує вірогідність надійного запуску процесів вторинно-електронного розмноження, нарощування струму вторинно-електронної емісії до величини робочого струму та запуск процесу генерування електромагнітних коливань при робочій напрузі магнетрону меншій 6кВ.

Закріплення елементів польового емітера таким чином, що їх ось симетрії проходить під кутом $\theta > 0$ до відповідної утворюючої зрізаних конусів через її середину забезпечує збільшення коефіцієнту вторинно-електронної емісії та надійність запуску процесу генерації електромагнітних коливань в магнетроні.

Сутність винаходу пояснюється ілюстраціями.

На Фіг.1 показано у розтині простір взаємодії та головні вузли магнетрона, в якому кінцеві області основного холодного катоду із тілом вторинно-електронного емітера виконані у вигляді зрізаних конусів, один боковий фланець створює діодну систему із елементами тіла польового емітера,

на Фіг.2 показано у розтині простір взаємодії та головні вузли магнетрона, в якому кінцеві частини основного холодного катоду із тілом вторинно-електронного емітера виконані у вигляді зрізаних конусів, бокові фланці створюють із елементами тіла польового емітера дві діодні системи,

на Фіг.3 показано поперечний перетин фланців із отворами для елементів тіла польового емітера додаткового катоду,

на Фіг.4 показано фрагменти виконання елементів тіла польового та вторинно-електронного емітерів.

Магнетрон містить у собі анод 1 із круглим отвором по периметру якого розташована періодична система резонаторів коаксально встановлених у ньому із зазором вузол основного холодного катоду 2 у вигляді трубки 3, на поверхні якої закріплено тіло вторинно-електронного емітера 4, а на торцях - фланці 5, які є фокусуючими екранами. Ділянки 6 тіла вторинно-електронного емітера 4 основного холодного катоду 2, що прилягають до фланців 5, виконані у вигляді зрізаних кругових конусів, менші основи яких співпадають із площинами фокусуючих екранів-фланців 5. Вздовж осі трубки 3 катоду 2 встановлено ізольований від нього електрод 7, на якому закріплено, принаймні один елемент 8 тіла польового емітера додаткового катоду. Принаймні один елемент 8 тіла польового емітера проходить через, принаймні, один отвір 9, виконаний, принаймні, в одному фокусуючому фланці 5, при цьому електрод 7 з'єднано із джерелом напруги (на Фіг.1 не показано). Ось симетрії елемента 8 польового емітера проходить під кутом $\theta > 0$ до відповідної утворюючої зрізаних

конусів 6 через її середину. Зони емісії елементів 8 польового емітера встановлені на відстані, яка забезпечує напруженість електричного поля на емісійній поверхні, достатню для отримання автоелектронної емісії.

Магнетрон працює таким чином.

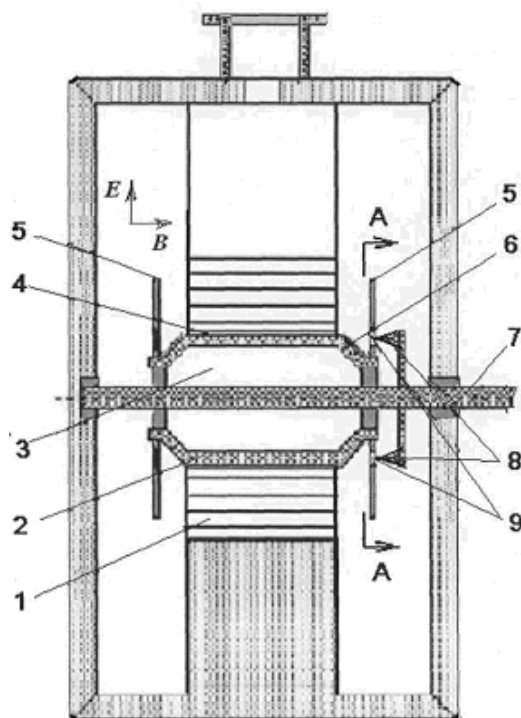
Струм збудження магнетрона забезпечують за рахунок польової емісії із повернутих до простору між анодом 1 та катодом 2 емісійних поверхонь елементів 8 тіла польового емітера, кожний із яких проходить через, принаймні, один отвір 9, виконаний, принаймні, в одному фланці 5. Тунелювання первинних електронів із емісійної поверхні вершин вістрів (лез) 8 викликається завдяки великій (10^7 В/м) напруженості електричного поля за рахунок прикладеної до неї різниці потенціалів (імпульсної напруги) між катодом 2 та електродом 7 із елементами 8 тіла польового емітера (Фіг.1). Електрони, тунельовані під дією високої напруженості електричного поля із емісійних поверхонь вершин вістрів (ребер лез) 8, потім прискорюються і бомбардують площини конусних ділянок 6 тіла вторинно-електронного емітера 4 основного холодного катоду 2. Первинні електрони вибивають із конусних ділянок 6 катоду 2 хмару вторинних електронів, які під дією статичних схрещених електричного E і магнітного B полів рухаються по траєкторіях у вигляді епіциклоїд від однієї кінцевої ділянки 6 до другої, створюючи електронну втулку в проміжку між анодом 1 та катодом 2. Частки "електронної втулки", рухаючись, в тому числі і вздовж осі простору взаємодії, над кінцевими ділянками 6 тіла вторинно-електронного емітера (БЕЕ) 4 холодного катоду 2 біля торців анодного блоку (поруч із екранами 5 на Фіг.1), де напруженість робочого електричного поля спадає, здобувають додаткову енергію і бомбардують робочу поверхню кінцевих ділянок 6 БЕЕ 4 основного холодного катоду 2, збільшуючи щільність просторового заряду в "електронній втулці" та струм вторинних електронів. Кулонівські сили неоднорідної по щільності просторового заряду "електронної втулки" сприяють розвитку процесу бомбардування зарядженими частками БЕЕ 4 холодного катоду 2 у вигляді лавини та ефективному розмноженню вторинних електронів на всій робочій поверхні БЕЕ 4. Струм вторинних електронів зростає до величини робочого струму магнетрона. Таким чином в запропонованому магнетроні із холодним катодом забезпечується збудження та генерування потужних електромагнітних коливань в процесі взаємодії потоку електронів із хвилями електромагнітного поля поблизу робочої поверхні періодичної системи резонаторів аноду 1.

Покриття елементів польового емітера діелектричними плівками забезпечує надійну польову емісію емітера додаткового катоду при вакуумі (10^{-5} - 10^{-6})мм рт.ст.

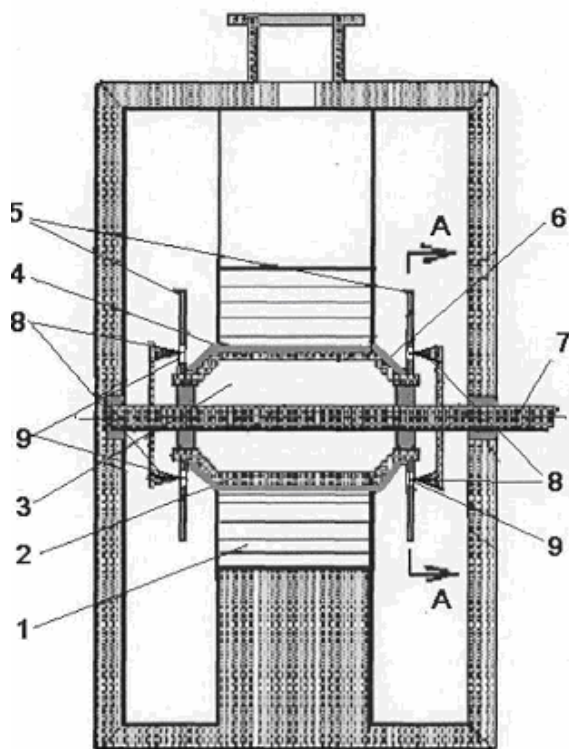
Для створених у відповідності із формулою винаходу магнетронів характерними є раптова готовність (готовність із першого імпульсу), висока надійність роботи при вакуумі 10^{-6} мм рт.ст., висока надійність запуску імпульсного генерування електромагнітних коливань при робочій напрузі біля 6кВ (без пропуску імпульсів), можливість безінерційно-

го переходу від імпульсного режиму із малим коефіцієнтом заповнення до імпульсного режиму із великим коефіцієнтом заповнення та навпаки, висока економічність, менш складна (порівняно із прототипом) технологія відтворення вузла катода без розжарювання (холодного катода), термін без-

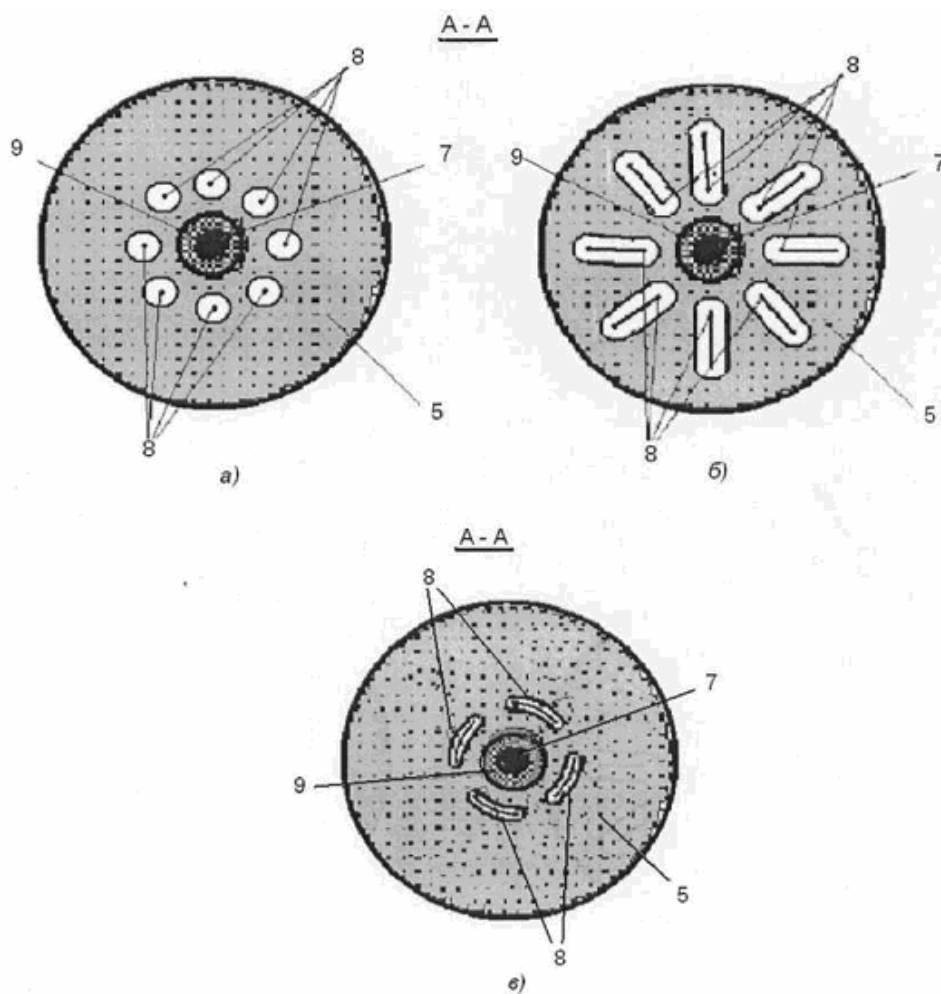
відмовної роботи більше 10000 годин. Використання такого магнетрона в НВЧ передавачах сучасних радарів відкриває можливість суттєвого спрощення їх схеми живлення, зменшення габаритів та маси.



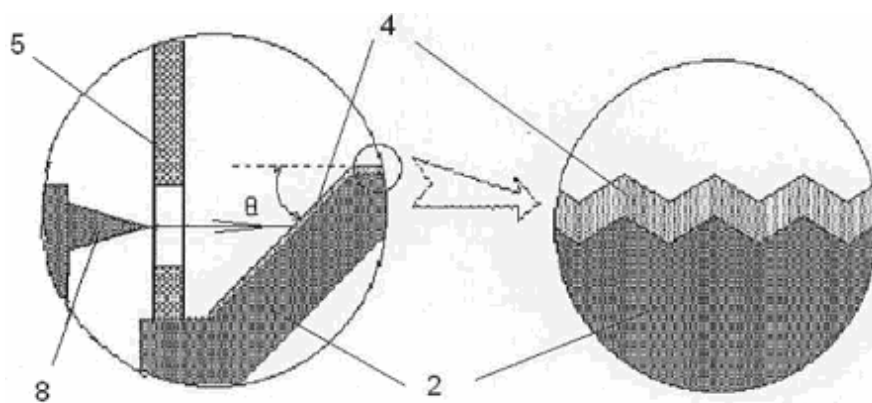
Фиг. 1



Фиг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4