



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 92399

(13) C2

(51) МПК (2009)

H01J 25/00

H01J 23/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) НАНОКЛІСТРОН

1

(21) a200900098

(22) 05.01.2009

(24) 25.10.2010

(46) 25.10.2010, Бюл.№ 20, 2010 р.

(72) ЕРЬОМКА ВІКТОР ДАНИЛОВИЧ

(73) ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ
ІМ. О.Я. УСИКОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ
НАУК УКРАЇНИ(56) Ives R.L. Microfabrication of high-frequency
vacuum electron device// IEEE Transaction on
Plasma Science - 06.2004. - vol. 32, №3. - P. 1288.

EP 0430461 A2; 05.06.1991

SU 1457706 A1; 10.04.1996

RU 2244980 C1; 20.01.2005

JP 62222547 A; 30.09.1987

WO 8904087 A1; 05.05.1989

(57) Наноклістрон, який містить електронно-
оптичну систему, яка складається із холодного
катода на основі автоемісійного емітера електро-
нів у вигляді матриці вістрів, плоского керуючого
електрода у вигляді матриці з круглими отворами,
коаксіальними вістрями, анода - тороїдального

2

резонатора, відбивач електронів, хвилевідний
пристрій для передачі високочастотної енергії із
резонатора у навантаження, який **відрізняється**
тим, що в електронно-оптичній системі керуючий
електрод електрично з'єднаний із анодом, між ке-
руючим електроном та анодом встановлено елек-
трично з'єднаний із катодом плоский фокусуючий
електрод у вигляді матриці з круглими отворами,
коаксіальними вістрями, при цьому електроди елек-
тронно-оптичної системи виконані і розміщені у
відповідності до наступних співвідношень розмірів:

 $t_4 = t_9 = (0,14 \div 0,46)D;$ $t_5 = (0,29 \div 0,51)D;$ $S_{4-5} = S_{5-6} = (0,14 \div 0,26)D,$

де t_4 , t_5 , t_9 - товщина керуючого і фокусуючого еле-
ктродів та анода відповідно;

S_{4-5} - зазор між керуючим і фокусуючим електро-
дами;

S_{5-6} - зазор між фокусуючим електроном і анодом -
тороїдального резонатора;

D - діаметр отворів в електродах.

Винахід належить до вакуумної електроніки
над високих частот (НВЧ) і може знайти широке
використання в джерелах електромагнітних коли-
вань О-типу, а саме, в наноклістромах міліметро-
вого (ММ) та субміліметрового (субММ) діапазонів,
зокрема, у відбивальних наноклістромах терагер-
цового інтервалу частот, із малим терміном готов-
ності до роботи та великим терміном безвідмовно-
го функціонування.

Відомий відбивальний клістрон (ВК) субММ ді-
апазону хвиль, який містить у собі діодну елект-
ронно-оптичну систему (ЕОС) із термоелектрон-
ним катодом та анодом - тороїдальним
резонатором, який виконано із осесиметричним
отвором для електронного потоку, відбивач елек-
тронів, хвилеводний пристрій для передачі високо-
частотної електромагнітної енергії із тороїдального
резонатора в навантаження (Чернец А.Н., Бабенко
М.И., Огаркова Л.В. Отражательные клистроны
миллиметрового и субмиллиметрового диапазона
волн // Труды ИРЭ АН УССР, 1970, т.18, с.90-105).

Недоліки відомого відбивального клістро-
на субММ діапазону хвиль полягають у наступному.
По-перше, він не забезпечує підвищення потужно-
сті вихідного сигналу в терагерцовому інтервалі
частот при підвищенні його робочої частоти. По-
друге, в його ЕОС використано термоелектронний
катод. Емісія потоку електронів із емітера термо-
електронного катода неможлива без затрат енергії
на його розігрівання. При підвищенні робочої час-
тоти ВК збільшуються високочастотні втрати в
його тороїдальному резонаторі внаслідок скінефе-
кту. В зв'язку із цим для отримання потрібної для
практичних використань потужності вихідного сиг-
налу ВК при збільшенні його робочої частоти не-
обхідно збільшити величину його робочого струму.
Збільшення робочого струму ВК із термоелектрон-
ного катода забезпечують за рахунок підвищення
щільності струму із робочої поверхні його емітера,
або за рахунок збільшення робочої напруги на
аноді. Емітер термоелектронного катода не спро-
можний забезпечити на протязі тривалого терміну
роботи збільшення щільності струму емісії при

(13) C2

(11) 92399

(19) UA

підвищенні робочої частоти ВК-аналога. Діодна ЕОС із термоелектронним катодом, при спробі створити ВК-аналог в короткохвильовій частині терагерцового інтервалу частот, не спроможна забезпечити формування електронного пучка із необхідною щільністю робочого струму навіть при застосуванні поперечної компресії потоку заряджених часток. Внаслідок цього термін безвідмовної роботи ВК-аналога не перевищує декілька сотень годин у будь-якому інтервалі частот. Потрете, ВК-аналог потребує певного терміну готовності до роботи, що обумовлено використанням в ньому ЕОС із термоелектронним катодом, розігрів якого відбувається за 0,5-2 хвилини.

Найбільш близьким за технічною сутністю та сукупністю ознак до даного технічного рішення аналогом (прототипом) є наноклістрон (НК) терагерцового інтервалу частот, який містить в собі електронно-оптичну систему із холодним катодом на основі автоемісійного емітера електронів у вигляді матриці вістрів, плоский керуючий електрод у вигляді матриці круглих отворів, коаксіальних вістрів, анод - тороїдальний резонатор із зазором взаємодії, створеним першою та другою сітками у вигляді матриці круглих отворів, коаксіальних вістрів, відбивач електронів, хвилеводний пристрій для передачі високочастотної енергії із резонатора у навантаження (R.L. Ives, Microfabrication of high-frequency vacuum electron devices // IEEE Transaction on Plasma Science, vol.32, No3, p.1288, 1200-GHz Nanoklystron, June 2004).

Технічне рішення - прототип має суттєвий недолік, який не сприяє збільшенню потужності вихідного сигналу при зростанні робочої частоти. Недолік обумовлено тим, що ЕОС НК формує електронний струм із значним розкидом заряджених часток по енергіях. ЕОС НК - прототипа має три електроди, потенціал на яких зростає від катода до анода, що не сприяє формуванню ламінарного електронного потоку. Поступове зростання потенціалів на електродах ЕОС створює умови для збільшення поперечної складової швидкості електронів, сприяє формуванню електронного потоку із певним розкидом заряджених часток по енергіях та зменшує можливість ефективного групування їх у компактні згустки в просторі між відбивачем електронів та зазором взаємодії тороїдального резонатора. Кінцевим результатом є зменшення потужності вихідного сигналу при підвищенні робочої частоти НК.

В основу винаходу поставлено задачу - удосконалити наноклістрон шляхом формування ламінарного електронного потоку між катодом та відбивачем електронів, що сприятиме збільшенню потужності вихідного сигналу генератора при підвищенні його робочої частоти в терагерцовому інтервалі частот.

Поставлена задача вирішується тим, що у наноклістріні, який містить в собі електронно-оптичну систему із холодним катодом на основі автоемісійного емітера електронів у вигляді матриці вістрів, плоским керуючим електродом у вигляді матриці круглих отворів, коаксіальних вістрів, анодом - тороїдальним резонатором, відбивач електронів, хвилеводний пристрій для

передачі високочастотної енергії із резонатора у навантаження, згідно із винаходом, в електронно-оптичній системі керуючий електрод електрично з'єднано із анодом, між керуючим електродом та анодом встановлено електрично з'єднаний із катодом плоский фокусуючий електрод у вигляді матриці круглих отворів, коаксіальних вістрів, при цьому електроди електронно-оптичної системи виконані і розміщені у відповідності до наступних співвідношень розмірів:

$$t_4=t_5=(0,14\div0,46)D; \quad t_5=(0,29\div0,51)D; \quad S_{4-5}=S_{5-6}= \\ = (0,14\div0,26)D,$$

де t_4 , t_5 , t_9 - товщина керуючого і фокусуючого електродів та анода відповідно; S_{4-5} - зазор між керуючим і фокусуючим електродами; S_{5-6} - зазор між фокусуючим електродом і анодом - тороїдальним резонатором; D - діаметр отворів в електродах.

Прийчинно-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак винаходу, що заявляються, та технічним результатом, що досягається, полягає в наступному.

Виконання в ЕОС наноклістрона керуючого електрода у вигляді матриці круглих отворів коаксіальних вістрів, який електрично з'єднаний із анодом - тороїдальним резонатором, встановлення між керуючим електродом та анодом фокусуючого електрода у вигляді матриці круглих отворів коаксіальних вістрів, який електрично з'єднаний із катодом, забезпечує їй якість імерсійного об'єктиву, який створює умови для зменшення поперечної складової швидкості електронів та формування ламінарного електронного потоку. Ламінарний електронний струмок із незначним розкидом заряджених часток по енергіях ефективно групується в компактні щільні згустки в нелінійному електростатичному полі відбивача електронів. Електрони, що згруповані в такі згустки, ефективно віддають енергію високочастотному полю в зазорі взаємодії тороїдального резонатора, створеному сітками, у вигляді матриць вісесиметричних отворів над вершинами вістрів. Таким чином збільшується потужність вихідного сигналу та ефективність процесу генерації електромагнітних коливань при зростанні робочої частоти наноклістрона в терагерцовому інтервалі частот.

Сутність винаходу пояснюється ілюстраціями. На Фіг.1 схематично зображено перетин наноклістрона, який показує взаємне розташування холодного катода із матричним вістрійним автоемісійним емітером, плоских керуючого та фокусуючого електродів ЕОС у вигляді матриць круглих отворів, коаксіальних вістрів, тороїдального резонатора із зазором взаємодії, створеним першою та другою сітками, кожна з яких має вигляд матриць ідентичних круглих отворів, коаксіальних вістрів, відбивача електронів, хвилеводного пристрою для передачі електромагнітної високочастотної енергії у навантаження; на Фіг.2, схематично зображено взаємне розташування електродів ЕОС: катода із холодним матричним вістрійним емітером, плоских керуючого та фокусуючого електродів, анода - першої сітки зазору взаємодії тороїдального резонатора, паралельні траєкторії електронів, тунельованих в вакуум внаслідок автоелектронної емі-

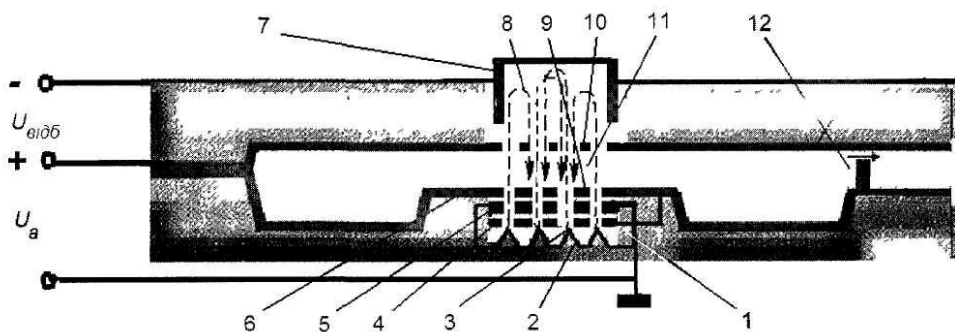
сії, які є, як підтверджує математичне моделювання процесу із врахуванням дії сил просторового заряду, результатом формування ламінарного потоку, та схему живлення електродів ЕОС.

Наноклістрон (Фіг.1) містить у собі ЕОС 1 із холодним катодом 2, який має матричний вістрійний автоемісійний емітер 3, плоскі керуючі електрод 4 та фокусуючий електрод 5, анод 6 - тороїдальний резонатор, відбивач 7 електронів. ЕОС 1 формує між катодом 2 та відбивачем 7 електронів ламінарний електронний потік 8 із незначним розкидом заряджених часток по енергіях. Тороїдальний резонатор 6 має першу 9 та другу 10 сітки зазору 11 взаємодії та хвилеводний пристрій 12 для передачі електромагнітної високочастотної енергії у навантаження. На площинах електродів 4, 5, 6 ЕОС 1 виконана матриця круглих отворів 15 діаметром D , кожний із яких встановлений коаксіально відповідному вістря емітера 3. Електроди 2, 4, 5, 6 ізолювані один від одного ізоляторами 16.

Наноклістрон працює таким чином. При його підключенні до джерел U_a та $U_{отр}$ живлення на електродах 2, 4, 5, 6 встановлюються відповідні потенціали. При зростанні на вершинах вістрів польового емітера 3 катоду 2 напруженості електричного поля до величини біля 10^7 В/см розпочинається процес тунелювання з них електронів (ефект автоелектронної емісії). З кожного вістря емітера 3 відбирають струм I_i , величина якого знаходиться в інтервалі $20\text{мкА} \leq I_i \leq 30\text{мкА}$ при відбиранні із кожного вістря струму $I \geq 30\text{мкА}$ можливе

виникнення вибухової емісії та руйнування емітера. Виконання і розміщення електродів 4, 5, 9 електронно-оптичної системи 1 у відповідності до наведених у формулі винаходу співвідношень створює умови для формування між катодом 2 та відбивачем 7 ламінарного електронного потоку 8 із незначним розкидом заряджених часток по енергіях при встановленні відповідних потенціалів на вказаних електродах. Негативний потенціал відбивача 7 електронів забезпечує рух електронів потоку 8 у зворотному напрямі до катоду 2 через зазор 11 взаємодії. На відрізок між відбивачем 7 електронів та другою сіткою 10 зазору 11 взаємодії тороїдального резонатора 6 електронний потік 8 групється в компактні щільні згустки. Електрони компактних згустків віддають в зазорі 11 резонатора 6 енергію високочастотному електромагнітному полю при взаємодії з його гальмівною електричною компонентою. Частка кінетичної енергії, відібраної у електронів та переданої високочастотному полю і накопиченої в тороїдальному резонаторі 6, виводиться із нього в навантаження за допомогою хвилеводного пристрою 12.

Створений у відповідності до формули винаходу наноклістрон забезпечує збільшення потужності вихідного сигналу при підвищенні його робочої частоти в терагерцовому інтервалі частот. Холодний катод із вістрійним автоелектронним емітером забезпечує також миттєву готовність наноклістрона до роботи.



Фіг.1.

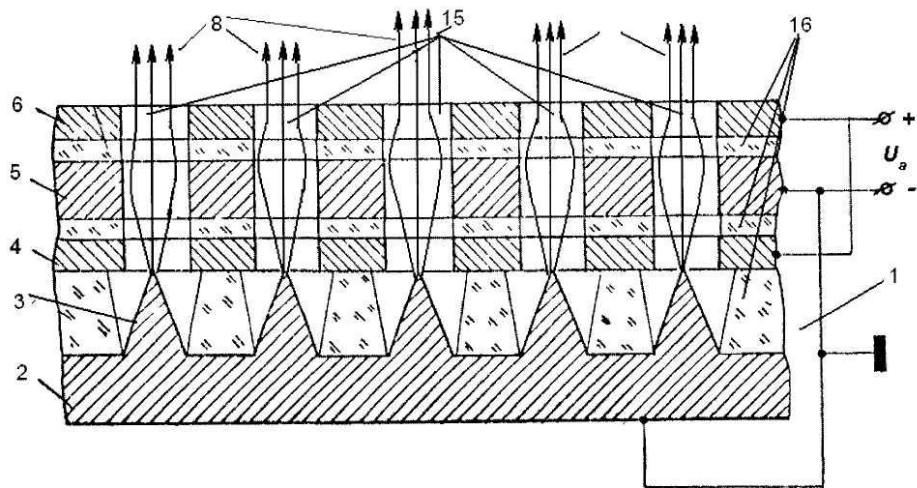


Fig.2.