



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **21661** (13) **U**
(51) МПК (2006)
H01J 37/26

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ОБРОБКИ БАГАТОВІСТРЯНОГО ПОЛЬОВОГО ЕМІТЕРА

1

(21) u200611885

(22) 13.11.2006

(24) 15.03.2007

(46) 15.03.2007, Бюл. № 3, 2007 р.

(72) Ксенофонов В'ячеслав Олексійович, Форбс
Річард Г., GB, Мазілов Олексій Олександрович,
Мазілова Тетяна Іванівна, Михайловський Ігор
Михайлович, Саданов Євген Вікторович

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР "ХАР-
КІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

2

(57) Спосіб обробки багатовістряного польового емітера, що включає розміщення багатовістряного польового емітера в камері, дію на емітер позитивним електричним полем, який **відрізняється** тим, що дію на емітер позитивним електричним полем проводять у присутності хімічно активного газу, що стимулює польове випарювання, а напруженість електричного поля збільшують до значення, що відповідає порогу стимульованого польового випарювання вістер з мінімальним значенням фактора посилення поля.

Корисна модель стосується області мікро- і/або наноелектроніки й приладобудування, зокрема до способів виготовлення багатовістряних емітерів електронів і іонів, принцип дії яких заснований на явищах польової електронної емісії й польової іонізації газів. Виготовлені польові емітери можуть бути використані як нерозжарювані джерела електронів і іонів у прискорювачах, мас-спектрометрах, інжекторах пристроїв для електронно-променевої обробки, катодних вузлів моніторів і ін.

Для одержання великих іонних і електронних струмів застосовуються емітери з розвиненою поверхнею, зокрема, багатовістряні польові емітери. Для забезпечення спільної роботи вістер в емітерах з розвиненою поверхнею використовують способи виготовлення, що забезпечують зниження розходження локальних факторів посилення поля поблизу вершин вістер, що обумовлює високу сумарну щільність електронної й іонної емісії.

Відомий спосіб обробки багатовістряного польового емітера у вигляді пакету вістер [Duke W.P. J.R.E.Trans. Mil. Electr., Mil-4, 38 (1960)] [1], що забезпечує високу щільність електронної й іонної польової емісії, який включає формування вершин вістер, шляхом нагрівання пакету до температури, при якій відбуваються процеси поверхневої самодифузії. Цей спосіб заснований на залежності швидкості отупіння вершин вістер (у процесі поверхневої самодифузії) від радіуса кривизни поверхні. У процесі цієї обробки інтенсивніше отуплюються вістря з малими радіусами кривизни. У

результаті цього наприкінці обробки нагрівом всі вістря в пакеті виявляються приблизно одного радіуса кривизни, що й забезпечує задовільну сталість локальних факторів посилення поля, а, отже, і високу сумарну щільність електронної й іонної емісії. Спосіб ефективний за умови однорідності взаємного екранування вістер у пакеті, що технологічно може бути реалізовано в емітерах з невеликого числа рівномірно розташованих вістер однакової висоти, що обмежує гранично припустимі струми емісії при фіксованій напрузі.

В останні роки завдяки розвитку нанотехнологій вдалося істотно збільшити кількість вістер у багатовістряних польових емітерах. Відомий спосіб обробки багатовістряного польового емітера у вигляді щільних пакетів, рівномірно розташованих нанотрубок, розділених твердим ізолятором, зокрема, окислом алюмінію, що включає електрохімічне травлення емісійної поверхні [Wan Jun Yu, You Suk Cho, Gyu Seok Choi and Dojin Kim // Nanotechnology. - 2005. - Vol.16, N5. - P.S291-S295] [2]. Цей спосіб дозволяє завдяки використанню нанотрубок значно збільшити загальну поверхню, яка емітує, що приводить до збільшення емісійного струму.

Недоліком цього способу є неоднорідність емісії, пов'язана з неможливістю забезпечення сучасними нанотехнологічними методами сталості локальних коефіцієнтів взаємного екранування вістер (нанотрубок) у пакеті. Локальні коефіцієнти відрізняються через наявність технологічного роз-

(13) **U**(11) **21661**(19) **UA**

киду нанотрубок за висотою, радіусами кривизни та відстанями між ними.

Найбільш близьким до пропонованого технічного рішення є спосіб обробки багатовістряного польового емітера [Гарбер Р.И., Дранова Ж.И., Михайловский И.М., Кулько В.Б. Снижение дисперсии факторов поля в многоигльчатых автокатадах. // Изв. АН СРСР. Серия физическая. 1971. Т.35, №3. С.632-635] [3]. Спосіб включає формування у вакуумі вершин вістер, шляхом поміщення багатовістряного емітера до камери й дію на нього позитивним електричним полем, що відповідає полю, яке випаровує вістря з найбільшим радіусом кривизни. Перевагою цього способу в порівнянні зі способом, описаним в [2], є підвищення однорідності емісії за рахунок вирівнювання геометричних параметрів всіх вістер до найбільшого для цих вістер значення.

Недоліком цього способу є низький коефіцієнт використання поверхні багатовістряного польового емітера, пов'язаний з неучастю у формуванні сумарного емісійного струму частини вістер. Це викликано руйнуванням частини вістер під дією механічних сил електричного поля, що виникають на оброблюваній польовим випарюванням поверхні. Низький коефіцієнт використання поверхні багатовістряного польового емітера приводить до зниження інтегральних струмових характеристик і неоднорідності емісії.

В основу корисної моделі поставлене завдання - розробити такий спосіб обробки багатовістряного польового емітера, який у порівнянні з відомим, обраним як прототип, дозволяв би підвищити коефіцієнт використання поверхні емітера за рахунок однорідності емісії по поверхні вістер.

Поставлене завдання вирішується в способі обробки багатовістряного польового емітера, що включає розміщення пакета вістер багатовістряного польового емітера в камері, дію на емітер позитивним електричним полем. Відповідно до корисної моделі дію на емітер позитивним електричним полем проводять у присутності хімічно активного газу, що стимулює польовий випар, а напруженість електричного поля збільшують до значення, що відповідає порогу стимульованого польового випарювання вістер з мінімальним значенням фактора посилення поля.

Запропонований спосіб характеризується більш високим коефіцієнтом використання поверхні, що емітує (струмовими характеристиками) і підвищеною однорідністю емісії по поверхні пакета вістер, що досягається за рахунок зменшення граничного значення напруженості польового випарювання при введенні у вакуумну камеру парів газу, що стимулюють процес польового випарювання. При обробці за пропонованим способом механічні напруги зменшуються внаслідок зниження напруженості поля за рахунок газового стимулювання процесу польового випарювання.

Фактор посилення поля f визначає зв'язок між напруженістю електричного поля E і напругою U : $E=fU$ (1).

Багатовістряні польові емітери, що представляють собою пакети вістер, до обробки стимульованим активним газом польовим випарюванням характеризуються спектром локальних значень

факторів f_n посилення поля, що визначають зі співвідношення $F_n=1/(s_n k r_n)$, (2), де s_n - локальний коефіцієнт екранування n -го вістря іншими вістрями пакета; k - геометричний фактор поля вістря, звичайно рівний 5; r_n - радіус кривизни n -го вістря. У процесі обробки польовим випарюванням, стимульованим активним газом, відбувається збільшення r_n і, відповідно, зниження f_n найбільш гострих і найменш екранованих вістер. Процес обробки польовим випарюванням, стимульованим активним газом, припиняється по досягненні напруги, що відповідає порогу стимульованого польового випарювання для вістер з мінімальним значенням фактора посилення поля. У результаті обробки вирівнюються фактори посилення поля всіх вістер у пакеті, що забезпечує знімання однакової щільності польового емісійного струму з кожного вістря в пакеті й підвищення за рахунок цього коефіцієнта використання поверхні емітера й однорідності емісії по поверхні пакета вістер.

На Фіг.1 представлено польове електронно-мікроскопічне зображення вольфрамового багатовістряного польового емітера, обробленого за способом - прототипом при напрузі на емітері $U=12\text{кВ}$; Фіг.2 - зображення поверхні того ж емітера, частина вістер якого зруйнувалася в процесі обробки за способом - прототипом при $U=14\text{кВ}$; Фіг.3 - польове електронно-мікроскопічне зображення вольфрамового емітера, обробленого за пропонованим способом при напрузі на емітері $U=4.5\text{кВ}$.

Були проведені порівняльні випробування за пропонованого способу обробки й способу - прототипу. Методом електрохімічного травлення були виготовлені вістря з вольфраму, ніобію й сплавів Nb-60ваг.\%Ti з вихідними радіусами кривизни в інтервалі 10-25нм. Випробування проводилися в робочій вакуумній камері польового емісійного (іонного й електронного) мікроскопа. Частина отриманих результатів ілюструється Фіг.1-3 і наведені як приклади 1-3. Ефективність способу визначалася на основі польових електронно-мікроскопічних даних про розподіл емісії по поверхні пакета вістер. Для заглушення ефекту накладення польових емісійних зображень окремих вістер здійснювався стиск електронних пучків шляхом поміщення багатовістряного польового емітера в однорідне поздовжнє магнітне поле напруженістю 1000-2000Е.

Приклад 1

Багатовістряний польовий емітер, виконаний у вигляді пакета з дев'яти вістер, виготовлених з вольфрамового дроту електрохімічним травленням із середнім радіусом вершини 15нм, поміщали, у відповідності зі способом - прототипом, у вакуумну камеру (тиск залишкових газів $5 \cdot 10^{-5}\text{Па}$), до емітера прикладали напругу 12кВ протягом 1хв. З польового емісійного зображення (Фіг.1) видно, що емітували на цьому етапі обробки сім вістер. Коефіцієнт використання емітера дорівнював 7/9. При подальшій обробці в процесі піднімання напруги до 14кВ відбулося руйнування чотирьох вістер, і коефіцієнт використання емітера знизився до 3/9 (Фіг.2). Відповідно знизилася й однорідність емісії по поверхні емітера.

Приклад 2

Багатовістряний польовий емітер, виконаний у вигляді пакета із семи вістер, виготовлених з вольфрамового дроту електрохімічним травленням із середнім радіусом вершини 20нм, поміщали у вакуумну камеру з тиском парів азоту $2 \cdot 10^{-2}$ Па. До емітера прикладали напругу, що змінювали від нуля до 4.5кВ. При цьому напруженість електричного поля збільшували до значення, що відповідає порогу стимульованого польового випару й підтримували до формування вістер з мінімальним значенням фактора посилення поля. У результаті, як видно з польового емісійного зображення (Fig.3), емітували на цьому етапі обробки всі сім вістер, тобто коефіцієнт використання емітера дорівнював одиниці. Таким чином, були досягнуті максимальний коефіцієнт використання багатовістряного польового емітера й гранична однорідність емісії.

Приклад 3

Багатовістряний польовий емітер, виконаний у вигляді пакета із дванадцяти вістер з початковими

радіусами кривизни 15нм, виготовлених зі сплаву Nb-60ваг.%Ті електрохімічним травленням, поміщали у вакуумну камеру з тиском парів водню $5 \cdot 10^{-2}$ Па. Потім до емітера прикладали напругу, що змінювали від нуля до 8кВ. Візуальний контроль емісійного зображення показував, що при цій напрузі досягався поріг стимульованого польового випарювання для вістер з мінімальним значенням фактора посилення поля й емітували всі дванадцять вістер. Таким чином, були досягнуті коефіцієнт використання багатовістряного польового емітера, що дорівнював одиниці, й гранична однорідність емісії.

Таким чином, запропонований спосіб обробки багатовістряного польового емітера дозволяє, у порівнянні зі способом, обраним як прототип, одержувати емітери з більш високими коефіцієнтами використання поверхні, що емітує, і підвищеною однорідністю емісії по поверхні пакета вістер.

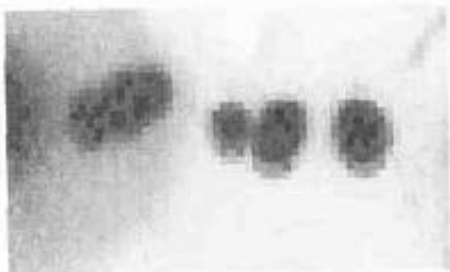


Fig. 1

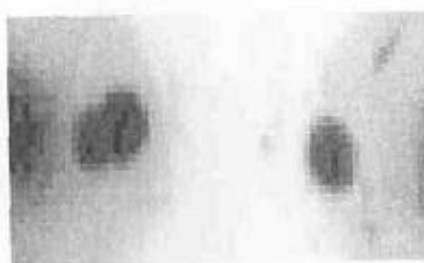


Fig. 2

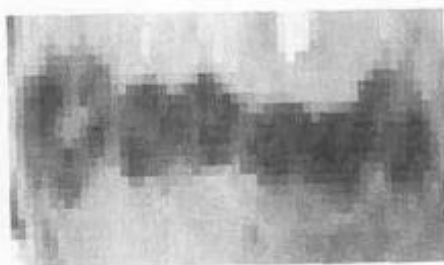


Fig. 3