

Е.М. Руденко¹, І.В. Короташ¹, В.Ф. Семенюк¹, К.П. Шамрай²

¹ Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України, Київ

² Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

ВАКУУМНО-ПЛАЗМОВИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ НАНОЕЛЕКТРОНІКИ ТА МІКРОЕНЕРГЕТИКИ



Створено вакуумно-плазмовий модуль – спеціалізовану технологічну установку прецизійного розмірного травлення та багатофункціональної іонно-плазмової обробки. Модуль базується на дворозрядній системі, що складається з джерел високоселективного плазмохімічного та високоанізотропного реактивно-іонного травлення. Установка призначена для формування структур елементної бази наноелектроніки та топології наноприладів, термоемісійних джерел, елементів перетворення сонячної та теплової енергії в електричну.

Ключові слова: геліконне джерело плазми, ємнісне магнетронне ВЧ-джерело плазми, іонно-плазмові технології, вакуумно-технологічне обладнання, нано- і мікроелектроніка.

Перехід до нанорозмірних структур в твердотільній електроніці спонукає до використання в елементній базі нових матеріалів, таких, як каталічні метали перехідної групи та вуглецеві нанотрубки. Розробка нових технологічних процесів в нано- та мікроелектроніці включає процеси прецизійного розмірного травлення матеріалів, що вимагає розробки нових іонно-плазмових реакторних систем, здатних здійснювати процеси як плазмохімічного та реактивно-іонного травлення, так і фізичного розпилення матеріалів, які не створюють летючих сполук з компонентами реактивних газів. Вирішення цієї проблеми можливе за рахунок покращення параметрів плазмових потоків шляхом використання нових високоефективних джерел плазми та створення нових високоефективних технологічних установок [1, 2].

Для новітньої елементної бази наноелектроніки та формування топології наноприладів,

термоемісійних джерел, елементів перетворення сонячної (та теплової) енергії в електричну необхідно створити обладнання, що реалізує високоефективні технологічні процеси. Існуюче технологічне обладнання не може вирішити вказані завдання.

У результаті виконання інноваційного проекту НАН України №14 у 2009 р. в Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України було створено вакуумно-плазмовий модуль (ВПМ), що функціонально є технологічною складовою (другим модулем) комплексу виготовлення елементної бази наноелектроніки та мікроенергетики. Перший модуль, призначений для синтезу наноструктурованих функціональних шарів, було створено та впроваджено в рамках інноваційного проекту НАН України № 23 в 2008 р. [3]. На рисунку показано ВПМ, що виконує технологічний процес.

ВПМ призначений для формування елементної бази наноелектроніки та топології наноприладів, термоемісійних джерел, елементів

перетворення сонячної (та теплової) енергії в електричну. Модуль базується на дворозрядній системі для прецизійного розмірного травлення. Вона включає в себе геліконний розряд (як джерело хімічно активних радикалів) та електродний ВЧ-розряд з поперечним магнітним полем (магнетронне ВЧ-джерело високоінтенсивного іонного потоку з незалежно регульованими густиною та енергією). Така комбінація джерел плазми в установці прецизійного травлення не має аналогів і завдяки високій густині плазми забезпечує в 10–100 разів більшу швидкість дисоціації молекулярних газів та інтенсивність іонних потоків на функціональний виріб, ніж в традиційних установках на основі індукційних (ICP) розрядів (установка Plasmafab System 100 з джерелом плазми ICP 380 (OXFORD INSTRUMENTS (Великобританія)).

Обидва джерела плазми, що використовуються у ВПМ, сумісні за робочим тиском та забезпечують одночасну дію на вироблення потоків хімічно активної радикальної та іонної компонент з незалежним регулюванням їх параметрів. Специфіка ряду основних матеріалів нанoeлектроніки пов'язана з підвищеною хемосорбцією залишкових компонент атмосфери (азот та ін.) на поверхні виробів. Це обумовлює необхідність незалежного контролю параметрів хімічно активної та іонної складових у потоці плазми. Контрольоване видалення шарів залишкового середовища з ділянок поверхні забезпечує високу однорідність та швидкість прецизійної обробки як в режимі високоселективного плазмохімічного травлення (ПХТ), так і в режимі високоаспектного реактивно-іонного травлення (РІТ) при цілеспрямованому плакуванні поверхні для підвищення анізотропії травлення. Тому тільки в такій системі можуть бути забезпечені стабільність технологічного процесу прецизійного травлення та високий вихід придатних виробів.

Конструктивно ВПМ складається з високовакуумної системи відкачування, системи на-



Вакуумно-плазмовий модуль для формування структур елементної бази нанoeлектроніки та мікроенергетики

пуску робочих газів, геліконного та ВЧ-магнетронного джерел плазми, електроду-утримувача підкладинок, відповідних джерел живлення розрядів та магнітної системи, системи контролю технологічного процесу з малогабаритним оптичним спектрометром. ВПМ дає можливість без заміни реакторів тільки за рахунок зміни робочих режимів переходити від процесів високоселективного плазмохімічного травлення до процесів високоаспектного реактивно-іонного травлення та фізичного розпилення.

Створений ВПМ дає можливість без зміни джерел плазми виконувати в одній реакційній камері такі технологічні процеси:

- ✦ високоаспектне реактивно-іонне травлення;
- ✦ високоселективне плазмохімічне травлення;

✦ високоенергетичне розмірне травлення матеріалів, що не утворюють летючих сполук з компонентами реактивних газів.

Пропонований ВПМ забезпечує прецизійне розмірне травлення монокристалічного кремнію, двоокису кремнію, вуглецю та інших матеріалів нанoeлектроніки та субмікронної мікроелектроніки зі швидкістю до 3–4 мкм/хв.

Фізичні параметри іонно-плазмових джерел ВПМ:

- ✦ робочий тиск – 0,5–5 Па;
- ✦ ступінь дисоціації хімічно активних молекулярних газів – 1–5 %;
- ✦ густина плазми інертного газу – 10^{11} – 10^{12} см⁻³;
- ✦ густина іонного потоку – 2–5 мА/см²;
- ✦ енергія іонів в потоці – 10–100 еВ;
- ✦ робоча частота – 13,56 МГц.

ВПМ обладнаний оптичним спектрометром з функцією контролю технологічних процесів *in situ*.

Використання у вакуумно-плазмовому технологічному комплексі високоефективних геліконних джерел забезпечує у 3–5 разів менше енергоспоживання, ніж у відомого на міжнародному ринку обладнання.

Реалізація вакуумно-плазмового модуля дала можливість завершити створення унікального технологічного комплексу виготовлення елементної бази нанoeлектроніки та мікроенергетики, який за своїми характеристиками і функціональними можливостями не має аналогів у світі.

Результати проекту впроваджено у ВАТ «НВП Сатурн».

ЛІТЕРАТУРА

1. *Shinohara S., Shamrai K.P.* Effect of electrostatic waves on a rf field penetration into highly collisional helicon plasmas // *Thin Solid Films.* – 2002. – V. 407. – № 1–2. – P. 215–220.
2. *Кралькина Е.А.* Индуктивный высокочастотный разряд низкого давления и возможности оптимизации источников плазмы на его основе // *УФН.* – 2008. – Т. 178. – № 5. – С. 519–540.

3. *Руденко Е.М., Коротаи І.В., Семенов В.Ф., Шамрай К.П.* Установка для прецизійного іонно-плазмового формування вуглецевих нанотрубок в єдиному вакуумно-технологічному циклі // *Наука та інновації.* – 2009. – Т. 5. – № 5. – С. 5–8.

*Э.М. Руденко, И.В. Коротаи,
В.Ф. Семенов, К.П. Шамрай*

ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУР ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ И МИКРОЭНЕРГЕТИКИ

Создан вакуумно-плазменный модуль — специализированная технологическая установка прецизионного размерного травления и многофункциональной ионно-плазменной обработки. В основу установки положена двухрядная система, состоящая из источника высоко-селективного плазмохимического травления и источника высокоанизотропного реактивно-ионного травления. Установка предназначена для формирования структур элементной базы нанoeлектроніки и топологии наноприборов, термоэмиссионных источников, элементов преобразования солнечной и тепловой энергии в электрическую.

Ключевые слова: геликонный источник плазмы, емкостный магнетронный ВЧ-источник плазмы, ионно-плазменные технологии, вакуумно-технологическое оборудование, нано- и микроэлектроника.

*E.M. Rudenko, I.V. Korotash,
V.F. Semenyuk, K.P. Shamrai*

VACUUM-PLASMA MODULE FOR THE FORMING OF STRUCTURE ELEMENT BASE OF NANOELECTRONICS AND MICROENERGETICS

The vacuum-plasma module — specialized technological unit of precision size etching and multifunction ion-plasma treatment is created. It is based on the two-figure system, consisting of high selective plasma-chemical and high anisotropic reactively-ionic etch sources. The module is intended for the forming of structure element base of nanoelectronics and nanodevice topology, thermal emission sources, elements converting sun and thermal energy into electrical energy.

Key words: plasma helicon source, plasma capacity HF source, ion-plasma technologies, vacuum-technological equipment, nano- and microelectronics.

Надійшла до редакції 24.03.10