

УСТАНОВКА НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІМПЛАНТАЦІЇ ІЗОТОПІВ ВОДНЮ
ЛАБОРАТОРНОГО ТА ПРОМИСЛОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

О. В. Коваленко, М. Ф. Коломієць

Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ

Описано установку низькоенергетичної імплантації ізотопів водню в напівпровідникові структури та плівки металів, визначено вимоги до конструкції, наведено принцип дії та її фізико-технічні характеристики. Установку призначено для отримання радіоізотопних джерел електроенергії міліватної потужності та джерел β -, X -випромінювання і нейтроноутворюючих мішеней прискорювачів заряджених частинок на основі тритію. Наведено результати попередніх експериментів з імплантації дейтерію у плівки аморфного гідрогенізованого, потім дегідрогенізованого та імплантованого дейтерієм кремнію, що підтверджують можливість низькоенергетичної імплантації тритію в ці структури.

Вступ

Сучасний розвиток промисловості все більш широко потребує застосування довгострокових, надійних, стійких до короткого замикання автономних джерел електроенергії. Таким вимогам задовольняють радіоізотопні джерела струму, в яких використовується енергія ядерних випромінювань, перетворена в електричну.

Одним із найбільш перспективних напрямків використання енергії випромінювання є її пряме перетворення в електричну за допомогою випрямляючих напівпровідникових структур, де під дією випромінювання народжуються електронно-діркові пари, що розділяються полем переходу [1]. Оптимальними радіоізотопними джерелами електричного струму в діапазоні мікроватних і міліватних потужностей варто вважати напівпровідникові перетворювачі енергії β -випромінювання тритію на основі монокристалічного чи аморфного кремнію, де тритій розміщують у металевих електродах і в самому напівпровіднику. У роботі [2] показано, що найбільш перспективними в цьому плані є перетворювачі на основі аморфного гідрогенізованого кремнію, що може містити до 50 % тритію. Такі джерела струму можна буде використовувати для живлення малопотужних пристроїв і приладів, наприклад автономних радіомаяків, електрокардіостимуляторів, джерел початкової іонізації розрядників антенних комутаторів радіолокаційних станцій тощо. У перспективі вони можуть стати основою створення елементної бази нового покоління з автономним живленням окремих мікросхем.

Однак розмістити тритій в аморфному кремнії методом прямої їх взаємодії неможливо, а технологія отримання гідрогенізованого аморфного кремнію методом піролізу силану не сумісна з тритієвою у зв'язку з вимогами радіаційної безпеки.

У роботі [3] запропоновано розміщувати тритій в кремнії методом імплантації іонів цього ізотопу з енергією 300 кеВ в область, близьку до p - n -переходу, що дало змогу отримати джерело постійного струму з досить низькою питомою електричною потужністю до 10 мкВт/см². Така ситуація, на наш погляд, пов'язана з утворенням значної кількості радіаційних пошкоджень у напівпровіднику завдяки бомбардуванню іонами тритію, що мають досить високу енергію. Крім цього, серійні імплантатори іонів не відповідають вимогам радіаційної безпеки при використанні радіоактивного тритію.

Таким чином, виникла необхідність створення спеціальної установки іонної імплантації тритію, де була б реалізована можливість здійснення його низькоенергетичного втілення в напівпровідник та наступного низькотемпературного розселення в область, близьку до p - n -переходу.

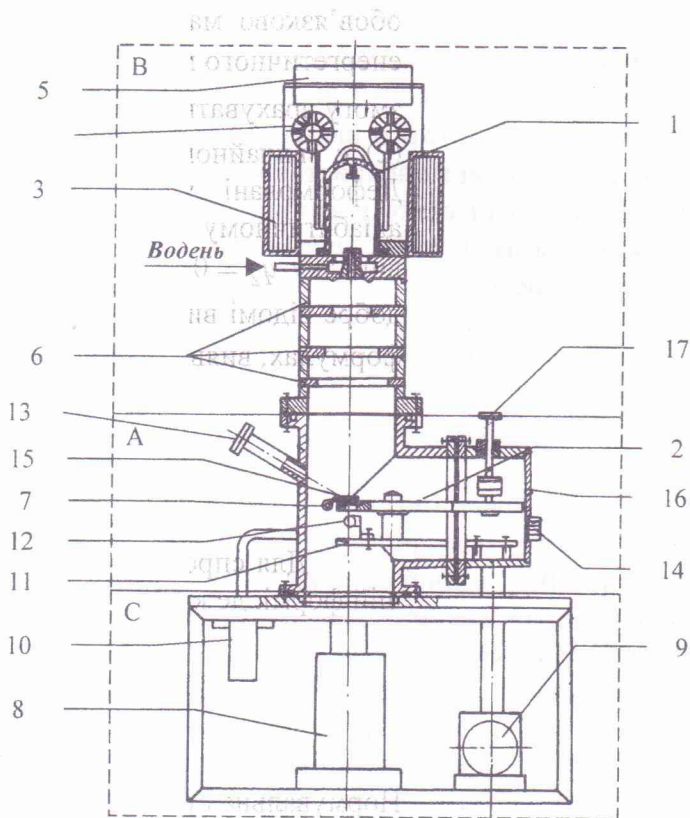
Така установка може бути застосована також для отримання тонкоплівкових металотритієвих структур нестехіометричного складу, які неможливо створити методом прямого гідрування (наприклад, тритіди берилію, алюмінію тощо) для застосування в якості джерел β -, X -випромінювання та нейтроноутворюючих мішеней прискорювачів заряджених частинок.

Установка низькоенергетичної імплантації ізотопів водню

Принцип дії запропонованої установки оснований на отриманні іонів ізотопів водню у високочастотному розряді з подальшим формуванням пучка необхідного діаметра та рівномірності їх розподілу по поперечному перерізу. Конструктивно ця установка повинна легко стикуватися з наявними установками насичення тритієм і мати мінімальний внутрішній об'єм. Установка складається з трьох основних вузлів (рисунок): *A* – камери імплантації; *B* – іонної гармати; *C* – блока відкачних пристроїв.

Камера імплантації *A* – це зварна конструкція двох циліндрів. З тильного боку камери через вакуумнофланцеві ущільнення закріплено стакан *16*, що є базою кріплення герметичного вводу *14*. Герметичні вакуумні вводи призначено для підведення всередину камери електроживлення для кварцового нагрівача *12*, що дає змогу нагрівати мішені *15* до заданої температури ($T = 250\text{ }^\circ\text{C}$) і контролювати їх прогрівання за допомогою термопар.

На платформі *11* розміщено кварцовий нагрівач *12*, термопару (у безпосередній близькості до мішеней) і стійку, на якій кріпиться спеціальний диск *2* з вкладеними в ньому мішенями *15* (15 шт.). Для здійснення повороту вправо й уліво диска з мішенями *15* під пучком іонів водню в стакані *16* передбачено рукоятку *17*, якою здійснюється передача обертального руху із зовнішньої частини камери. Необхідно відзначити, що мішені в диску, при повороті, виходять на вісь пучка іонів ізотопів водню від ВЧ індуктора й до камери імплантації. Цьому сприяє застосування фокусуючої камери з кільцями *6*. Диск із мішенями з'єднано з мікроамперметром для контролю струму пучка іонів.



Установка іонно-пучкової імплантації.

A – камера імплантації; *B* – іонна гармата; *C* – блок відкачних пристроїв. *1* – скляна колба; *2* – зубцюватий диск; *3* – електромагніт; *4* – ВЧ індуктор; *5* – вентилятор; *6* – фокусуюча камера з кільцями; *7* – увід рукоятки шибера; *8* – паро-масляний насос; *9* – форвакуумний насос; *10* – клапан напуску повітря в камеру імплантації; *11* – платформа; *12* – кварцовий нагрівач; *13* – окуляр; *14* – герметичний увід електроживлення; *15* – мішені; *16* – стакан; *17* – рукоятка приводу диска з мішенями.

В якості мішеней *15*, розмішених на зубцюватому диску *2*, можуть бути плівки аморфного кремнію чи багатошарові структури з аморфного кремнію на кварцовій, ситаловій чи плівковій поліамідній підкладці, розміром 1 см^2 , або плівки інших металів на різноманітних підкладках.

Розміщення всіх необхідних пристроїв у стакані *16* створює зручності для монтажу й знегажування камери імплантації.

У камері імплантації *A* є ще один розбірний рухливий вакуумний увід *7* як шиберний пристрій для мішеней *15*, розміщених на диску *2*. Шибер розміщено так, щоб, не створюючи перешкод обертанню зубцюватих дисків *2*, він міг виконувати функцію закривання мішеней від пучка іонів у необхідний момент та контролю фокусування пучка необхідного діаметра по нанесеному на шибер люмінофору. Керування шибером *7* ведеться із зовнішньої частини камери за допомогою рукоятки, що має обмежники ходу навколо осі.

Візуалізація всіх фізичних і технологічних процесів та процесів керування всередині камери імплантації *A* іонів водню здійснюється за допомогою окуляра *13*.

На верхній частині фокуруючої камери *б* закріплено скляну колбу *1* джерела іонів. Зверху колби *1* встановлено ВЧ індуктор *4*. Завершує конструкцію іонної гармати *B* зверху вентилятор для охолодження.

Подача водню в камеру імплантації *A* здійснюється у верхній частині фокууючої камери *б* через голчастий натікач та вмонтований паладієвий фільтр. Далі через систему отворів він попадає під скляну колбу, де за допомогою ВЧ індуктора утворюються іони водню, що витягаються електричним полем через екстрактор фокууючої камери *б* і далі через фокууючі кільця камери до мішеней *15* на зубцюватому диску *2*.

Необхідно відзначити, що конструктивно електромагніт *3*, ВЧ індуктор *4*, фокууюча камера *б*, камера імплантації *A* й одна мішень *15* на зубцюватому диску *2* виконані на одній центральній вертикальній осі всієї установки іонно-пучкової імплантації.

Пучок іонів фокуується на мішені системою електростатичних лінз до діаметра 5 - 10 мм. Схемне рішення та режими роботи фокууючої системи оптимізовано таким чином, що у фокальній площині отримано перетин пучка правильної форми з чіткими границями й без видимих аберацій.

Установку імплантації ізотопів водню створено таким чином, що вона повністю стикується з установками термічного насичення тритієм типу УНІВ-1. Це дає змогу на останньому етапі проведення експериментальних досліджень імплантувати іони тритію в напівпровідникову випрямляючу структуру.

У роботі [4] наведено результати експериментальних досліджень низькоенергетичної імплантації ізотопів водню плівок гідрогенізованого аморфного кремнію *a-Si:H*, нанесених на молібденові чи ситалові підкладки, виготовлені у Фізико-технічному інституті ім. А. Ф. Йоффе (Санкт-Петербург) методом плазмо-хімічного газофазного розкладання силану.

В експериментах використовувалися нерадіоактивні ізотопи водню – протій і дейтерій. За 2 год у плівку *a-Si:H* імплантувалось близько 10^{18} протонів чи іонів дейтерію на глибину 40 - 50 нм (прискорююча напруга 2,5 кВ), що становить для плівки товщиною $5 \cdot 10^{-5}$ см і площею 1 см^2 порядку 13 ат. %, цього досить для насичення зв'язків *a-Si:H*. Подальше відпалювання зразків у вакуумі при 200 °С привело до рівномірного їхнього розподілу по всій товщині плівки.

Оскільки не було помічено яких-небудь істотних відмінностей при імплантації цих ізотопів, можна, імовірно, сподіватися на те, що й радіоактивний тритій можна розмістити в *a-Si:H* таким же методом. Оптимальна густина іонного струму в експериментах становила $17 \cdot 10^{-6} \text{ А/см}^2$.

Крім того, відсутність водню у вихідних зразках після відпалювання у вакуумі і його наявність після імплантації у плівках *a-Si:H*, а також розподіл по глибині підтверджувалися дослідженнями методом ВІМС в ІМФ НАН України.

Висновок

Установка низькоенергетичної імплантації ізотопів водню, що створена в даній роботі, дає можливість отримувати пучки протонів, дейтронів або тритонів, достатньо рівномірно розподілених по перетину, з енергією до 2,5 кеВ та густиною струму $17 \text{ мкА} \cdot \text{см}^{-2}$, а також відпалювати зразки мішеней в одному вакуумному циклі з імплантацією.

Такі фізико-технічні характеристики установки дозволяють розмішувати ізотопи водню в напівпровідникових структурах із заданою концентрацією, уникаючи суттєвих радіаційних пошкоджень напівпровідника, що дає змогу отримати ефективні перетворювачі енергії β -випромінювання тритію в електричну.

Використання цієї установки для втілення тритію в тонкоплівкові металеві шари дає змогу також отримати нові типи джерел випромінювання та нейтроноутворюючих мішеней для прискорювачів заряджених частинок. Створена установка низькоенергетичної імплантації відкриває можливості для широкого спектра досліджень радіоізотопних джерел струму на основі напівпровідникових перетворювачів енергії β -випромінювання тритію та металотритієвих структур для створення джерел β -, X -випромінювання тритію й нейтроноутворюючих мішеней прискорювачів заряджених частинок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тилл У., Лансон Дж. Интегральные схемы. Материалы, приборы, изготовление: Пер. с англ. / Под ред. М. В. Гальнедина. - М.: Мир, 1985. - 504 с.
2. А. с. 315886 ССР, МКІ³ G 21 H 1/100. Источник постоянного тока / В. М. Ганшин, П. П. Голокоз, Н. Ф. Коломиец и др. - Оpubл. 17.07.88.
3. Пат. 213779 (ГДР) Радиоизотопная батарея / Р. Гельднер, Ю. Леонгард. - Приоритет от 03.03.83. - Оpubл. 19.09.84.
4. Гидрогенизация аморфного кремния методом низькоенергетичної імплантації ізотопов водорода / П. П. Голокоз, А. В. Коваленко, Н. Ф. Коломиец и др. // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. - 1998. - Вып. 33. - С. 154 - 156.

УСТАНОВКА НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИМПЛАНТАЦИИ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА ЛАБОРАТОРНОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А. В. Коваленко, Н. Ф. Коломиец

Обоснована необходимость создания, определены требования к конструкции, приведены принцип действия и физико-технические характеристики установки низькоенергетической імплантації ізотопов водорода в полупроводниковые структуры и пленки металлов для получения радиоизотопных источников электроэнергии милливатной мощности и источников β -, X -излучения и нейтронообразующих мишеней для ускорителей заряженных частиц на основе трития. Приведены результаты предварительных экспериментов по імплантації дейтерия в пленки аморфного гидрогенизированного, потом дегидрогенизированного и імплантированного дейтерием кремния, которые подтверждают возможность низькоенергетической імплантації трития в эти структуры.

LOW ENERGY IMPLEMENTATION HYDROGEN FACILITY OF LABORATORY AND INDUSTRIAL APPLICATION

A. V. Kovalenko, N. F. Kolomiets

The need of creation and also requirements to the construction are considered. The principle of action and physical-technical characteristics of low temperature implantation of hydrogen isotopes facility to the semiconductor structures and to the layers of metals to obtain radioisotopes energy sources of milliwatt power and β -, X -radiation sources, and neutrons accumulated targets of charged particles based on tritium accelerators are given. The preliminary results on deuterium p-i-n structure implantation of amorphous hydrogenated then dehydrogenation and implanted by heavy hydrogen silicon, which prove the possibility of low temperature implantation of tritium to these structures are given.

Надійшла до редакції 10.01.04,
після доопрацювання – 19.01.04.