

УДК 621.315.592

КРИСТАЛІЗАЦІЯ СИЛЬНОЛЕГОВАНИХ ЕПІТАКСІЙНИХ ШАРІВ *n*-Si МЕТОДОМ РФЕ ІЗ РОЗЧИНІВ-РОЗПЛАВІВ Sn—Sb—Yb

Д. Т. Н. М. М. Ваків¹, В. Р. Тимчишин²

¹НВП «Карат»,

²НУ «Львівська політехніка»

Україна, м. Львів

carat207@i.ua

*Проведено дослідження сильнолегованих епітаксійних шарів *n*-Si, отриманих методом низькотемпературної рідиннофазної епітаксії. Встановлено, що введення ітербію в розплав олова забезпечує кристалізацію шарів *n* – Si з якісною морфологією поверхні. Використання Sn—Sb—Yb розчинів-розплавів забезпечує формування сильнолегованих епітаксійних шарів *n*-Si в температурному діапазоні 840—760°C.*

Ключові слова: рідиннофазна епітаксія, сильнолегований шар, концентрація носіїв.

В сучасній електроніці дуже важливу роль відіграють епітаксійні структури Si, одержані різними методами, в тому числі методами рідиннофазної епітаксії (РФЕ). Високоомний Si є основою напівпровідникової мікроелектроніки. Він використовується як у вигляді підкладки при виготовленні інтегральних схем, а так і у вигляді активного середовища при виготовленні високовольтних напівпровідникових приладів [1]. Сильнолеговані шари кремнію з концентрацією електронів $n > 1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, які отримуються методом рідиннофазної епітаксії, використовуються для отримання надвисокочастотних діодів на основі Si, а також фотоелектричних перетворювачів [2].

При використанні методу РФЕ для нарощування сильнолегованих епітаксійних шарів *n*-Si важливу роль відіграє вибір розчинника і легувальної донорної домішки. Для одержання ізопараметричних кремнієвих структур методом РФЕ розплав необхідно комплексно легувати для взаємної компенсації напруг в кристалічній решітці, які вносять домішки. Невиконання цих умов призводить до значних деформацій кремнієвих структур, що стають непридатними для виготовлення приладів. Серед елементів, які є оптимальними для застосування як донорні легувальні домішки в РФЕ, — миш'як (As) і сурма (Sb). Оскільки As має значний парціальний тиск при температурах вищих від 800°C, його використання є обмеженим у відкритих епітаксійних системах. Тому більш доцільним є використання сурми.

Розчинник для нарощування *n*-Si-шарів товщиною 10—20 мкм у температурному діапазоні 800—700°C, повинен характеризуватись значною здатністю розчиняти кремній, бути електрично-нейтральним в напівпровіднику або ж забезпечувати введення донорних рівнів. У випадку рідиннофазної епітаксії (РФЕ) кремнію перерахованим вимогам відповідає лише відносно невелика кількість металів. До найбільш широко використовуваних належить ізовалентне олово (Sn).

Але проблемою рідиннофазної епітаксії нарощування сильнолегованих епітаксійних шарів *n*-Si, при низьких температурах є те, що розплави олова погано змочують підкладку за цих температур, що призводить до утворення значних дефектів росту, таких як незмочувані ділянки, гексагональні дефекти, мікрровключення розчинника. Тому для уникнення цього явища використовують алюміній (Al), який додається в певних концентраціях в розчинник. Алюміній є розкисляючою домішкою, тобто такою, яка взаємодіє з киснем, розчиненим в олові, запобігаючи формуванню окисних ділянок на поверхні плівки в момент контакту розчинника олова із підкладкою. Але алюміній є одночасно акцепторною домішкою і при отриманні сильнолегованих шарів Si *n*-типу провідності призводить до компен-

сації епітаксійних шарів, а відтак, і до обмеження максимально можливих значень концентрації електронів, які можна досягнути при легуванні сурмою, величиною $(5,0—6,0) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Тому потрібно шукати інші способи, які забезпечили б той же ефект, що й алюміній, але не спричиняли компенсації отримуваних епітаксійних шарів.

До домішок, які можуть забезпечити потрібний нам ефект, належать лантаноїди — елементи III групи, які мають значно вищу ефективність взаємодії з киснем і тому можуть вводиться в розплав в незначних кількостях, не генеруючи додаткових дефектів структури.

В даній роботі приведено результати досліджень по формуванню сильнолегованих епітаксійних шарів *n*-Si із застосуванням рідкісноземельного елемента ітербію (Yb) і донорної домішки сурми (Sb). При проведенні технологічних процесів нарощування шару *n*-Si використовували підкладки *i*-Si (кремній КБО — 1 (111) $\rho > 500 \text{ Ом} \cdot \text{см}$, товщина *i*-Si підкладок $d = 230—270 \text{ мкм}$). Як розкиснювальну домішку використовували рідкісноземельний елемент Yb в кількостях, що становили 0,001—0,15 ат. % в розплаві олова. Епітаксійні шари *n*-Si нарощувались в діапазоні температур 840—760°C. Швидкість зниження температури становила 0,7—1,0 °C/хв. Для підрозчинення підкладки використовувався як окремий травильний розчин олова, так і недонасичений по кремнію розчин олова, легований кремнієм, ітербієм та сурмою. Підтравлення тривало 30 хвилин. Вміст Sb був в межах (6,2—8,5) ат. %. Кристалізація епітаксійного шару тривала 2,5 години. При такому технологічному режимі нарощування були отримані шари *n*-Si товщиною 8—16 мкм. Концентрація електронів при цьому становила $(3,2—9,1) \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

Встановлено, що при концентраціях ітербію в розчині-розплаві олова більших від 0,15 ат.% морфологія шарів істотно погіршується. Це може бути зумовлене утворенням оксидів ітербію у розплаві які погіршують умови масопереносу кремнію з об'ємі розплаву.

Отже, була відпрацьована технологія нарощування сильнолегованих епітаксійних структур *n*-Si методом низькотемпературної рідиннофазної епітаксії. Встановлено, що високих концентрацій електронів можна досягти, використовуючи як розкиснювальну домішку ітербій, а як легувальну домішку — сурму. Відпрацьована технологія може бути використана для кристалізації сильнолегованих епітаксійних шарів при низьких температурах епітаксії.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Бабак А. Г., Мишакин Н. И., Кожитов А. В. и др. Силовые диоды на основе монокристаллов кремния цилиндрической (трубчатой) формы // *Электроника и электрооборудование транспорта*.— 2007.— № 5.— С. 19—23.
2. Kopecek R., Peter K., Hötzel J., Bucher E. Structural and electrical properties of silicon epitaxial layers grown by LPE on highly resistive monocrystalline substrates // *Journal of Crystal Growth*. — 2000.— № 208.— С. 289—296.

М. М. Vакiv, V. R. Tymshychyn

Crystallization of *n*-Si heavily doped epitaxial layers obtained by LPE from Sn—Sb—Yb solution-melt.

Heavily doped *n*-Si epitaxial layers obtained by low-temperature liquid-phase epitaxy has been investigated. It has been established that saturation of St solution with Yb causes the crystallization process of *n*-Si layers with qualitative morphology of the surface. Application of the Sn—Sb—Yb solution-melts provides forming of heavily doped epitaxial layers of *n*-Si in temperature range of 840—760°C.

Keywords: *liquid-phase epitaxy, heavily doped layers, carrier concentration.*