

УДК 621.315.592

## ОСОБЛИВОСТІ ЛЕГУВАННЯ ЕПІТАКСІЙНИХ ШАРІВ GaAs ТА AlGaAs, ВИРОЩЕНИХ НА ПІДКЛАДКАХ GaAs (111) МЕТОДОМ МОС-ГІДРИДНОЇ ЕПІТАКСІЇ

К. т. н. С. Ю. Ларкін<sup>1</sup>, С. Ю. Авксентьев<sup>1</sup>, д. т. н. М. М. Ваків<sup>2</sup>,  
д. т. н. С. І. Круковський<sup>1</sup>, Я. Я. Кость<sup>1</sup>, Р. С. Круковський<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НВК «Наука», м. Київ, <sup>2</sup>НВП «Карат», м. Львів  
Україна  
carat207@i.ua

*Досліджено особливості легування цинком та кремнієм епітаксійних шарів GaAs (AlGaAs), вирощених на підкладках GaAs кристалографічної орієнтації (111) в залежності від співвідношення елементів п'ятої та третьої групи в газовій фазі реактора. Епітаксійні шари отримувалися методом МОС-гідридної епітаксії в температурному діапазоні 620—680°C. Визначено вплив власних точкових дефектів на профілі концентрації електронів та дірок в епітаксійних шарах.*

*Ключові слова:* МОС-гідридна епітаксія, арсенід галію, концентрація носіїв.

В даний час технологія газозфазної епітаксії з металоорганічних джерел (МОСГФЕ) знаходить широке застосування для виготовлення найрізноманітніших гетероструктур сполук  $A_3B_5$ . Слід зазначити, що типовою кристалографічною орієнтацією підкладок, які використовуються для одержання епітаксійних структур методом МОСГФЕ, є (100), що в першу чергу обумовлено приблизно однаковою кількістю атомів галію і арсеніду з розірваними зв'язками на поверхні та зумовленою цим рівністю нормальної і тангенціальної складових швидкості кристалізації більшості сполук  $A_3B_5$ .

Низка приладів, зокрема таких як високовольтні швидкодійні діоди чи транзистори, можуть бути виготовлені із кращими характеристиками, якщо для цього використовувати епітаксійні структури кристалографічної орієнтації (111A/B). Однак механізми росту епітаксійних шарів GaAs (AlGaAs), одержаних методом МОСГФЕ при зниженому тиску, до кінця не з'ясовані. На основі експериментальних досліджень, виконаних в [1, 2], встановлено, що тиск арсину та температура кристалізації є основними факторами, які визначають морфологію поверхні шарів GaAs (AlGaAs), отримуваних методом МОСГФЕ при атмосферному тиску. Якісна морфологія шарів кристалографічної орієнтації (111A/B) досягається при високих парціальних тисках арсину та не завжди оптимальних температурах кристалізації для твердих розчинів AlGaAs (близько 600°C). Істотний надлишковий тиск арсину над поверхнею епітаксійної плівки, що кристалізується, стимулює утворення антиструктурних дефектів, таких як арсен у вузлах галію, міжвузельні атоми арсену у підгратці галію та складні комплекси з участю вакансій галію з антиструктурними дефектами. Звичайно, прогнозоване легування таких шарів акцепторними та донорними домішками значно ускладнюється і потребує детальних досліджень, які б враховували кінетику та умови росту, зокрема такі як температура, співвідношення елементів п'ятої та третьої груп, легувальні домішки, а також процеси дефектоутворення.

Метою роботи є дослідження впливу співвідношення елементів п'ятої та третьої груп, а також температури на легування кремнієм та цинком епітаксійних шарів GaAs (AlGaAs), вирощених на підкладках GaAs кристалографічної орієнтації (111A).

Епітаксіальні шари GaAs:Si (111A) і  $Al_xGa_{1-x}As:Zn$  (111A) вирощували на установці МОС-гідридної епітаксії Discovery 180LDM у вертикальному реакторі з високою швидкістю обертання підкладкотримача (близько 900 об/хв). Температура підкладок змінювалась в межах 620—680°C. Тиск в реакторі становив 70 Торр. Як вихідні реагенти використовували триметилгалію, триметилалюмінію і арсин  $AsH_3$ . Джерелом легувальних елементів кремнію та цинку були дисилан та диметилцинк.

Вимірювання параметрів епітаксійних шарів здійснювалось з використанням методики гальваномагнітних досліджень, C-V-профілювання, оптичної мікроскопії та фотолюмінесценції.

На основі проведених досліджень встановлено, що в епітаксійних шарах  $n\text{GaAs:Si}$ , кристалізованих за температури  $610^\circ\text{C}$ , при збільшенні відношення кількості елементів п'ятої групи до кількості елементів третьої групи (V/III) від 80 до 220 концентрація електронів зростає від  $8 \cdot 10^{17}$  до  $4 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . При температурі нарощування  $680^\circ\text{C}$  характер цієї залежності зберігається. Проте, зміна концентрації електронів є дещо меншою. Вона не перевищує величини  $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Спостережувану залежність можна пояснити тим, що при збільшенні співвідношення V/III у газовій фазі реактора (за рахунок зростання ефективного потоку арсину) концентрація вакансій арсену в підґратці елемента п'ятої групи зменшується. Оскільки кремній є амфотерною домішкою, ймовірність його входження в підґратку елемента третьої групи, де він є донором, істотно зростає. Тому ми і спостерігаємо зростання концентрації електронів в епітаксійних шарах  $n\text{GaAs:Si}$  при збільшенні співвідношення V/III в газовій фазі. При більш високих температурах епітаксійного нарощування кількість атомів арсину, що розкладається на поверхні підкладки зростає. Надлишок атомів арсену спричиняє його дифузію між вузлами галієвої кристалічної підґратки з утворенням антиструктурних дефектів  $\text{As}_{\text{Ga}}$ . При достатній кількості цих дефектів в епітаксійних шарах арсеніду галію обмежується входження атомів кремнію в галієву підґратку, що і спричиняє зменшення концентрації електронів в шарах, кристалізованих при температурі  $680^\circ\text{C}$ .

Ефектом утворення антиструктурних дефектів  $\text{As}_{\text{Ga}}$  в галієвій підґратці можна також пояснити зменшення концентрації дірок від  $3 \cdot 10^{18}$  до  $8 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  в епітаксійних шарах твердих розчинів  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As:Zn}$  (111A) ( $x=0,2-0,3$ ), кристалізованих за температури  $680^\circ\text{C}$ , при зростанні співвідношення V/III у газовій фазі реактора в інтервалі 120—170.

Отримані результати добре узгоджуються з висновками фотолюмінесцентних досліджень про утворення нестехіометричних структурних дефектів в епітаксійних шарах GaAs внаслідок зміни парціальних тисків арсену та галію в газовій фазі реактора.

Отримані результати можуть бути використані при відпрацюванні технології нарощування епітаксійних структур арсеніду галію на підкладках з кристалографічною орієнтацією (111) для різноманітних приладних застосувань.

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Umenura M., Kuvahara K., Fuke S. Morphology of GaAs homoepitaxial layer grown on GaAs(111 A) substrate planes by organometallic vapor phase deposition // Journal of Applied Physics.— 1990.— Vol. 68.— P. 97—100.
2. Fuke S., Umenura V., Yamada N. Morphology of AlGaAs layer grown on GaAs(111 A) substrate planes by organometallic vapor phase epitaxy // Journal of Applied Physics.— 1992.— Vol. 72.— P. 313—1-313.

S. Y. Larkin, S. Y. Avksentev, M. M. Vakiv, S. I. Krukovsky, Y. Y. Kost, R. S. Krukovsky  
**The peculiarities of MOS hydride epitaxy doping of GaAs and AlGaAs epitaxial layers grown on GaAs substrates(111).**

The peculiarities of zinc and silicon doping of GaAs (AlGaAs) epitaxial layers grown on GaAs substrates with (111) crystallographic orientation depending on the ratio of fifth and the third group elements in the gas phase of the reactor have been investigated. The epitaxial layers has been obtained by MOS hydride epitaxy in the temperature range of  $620-680^\circ\text{C}$ . The influence of intrinsic point defects on the concentration profiles of electrons and holes in the epitaxial layers has been determined.

Keywords: *MOS hydride epitaxy, gallium arsenide, carrier concentration.*