

06.1; 06.2; 12

© 1992

ДИФфуЗИЯ  $Zn$  В  $InP$  И ТВЕРДЫЕ РАСТВОРЫ  
НА ЕГО ОСНОВЕ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ  
ПЛЕНОЧНЫХ ДИФфуЗАНТОВС.В. Б е л я к о в, Л.А. Б у с ы г и н а,  
А.Т. Г о р е л е н о к, А.В. К а м а н и н,  
В.А. К у к а т о в, А.В. М е р к у л о в,  
И.А. М о к и н а, Н.М. Ш м и д т,  
Т.А. Ю р е

В последнее десятилетие при производстве различных типов приборов на основе полупроводниковых соединений  $A_3B_5$  [1] успешно используется процесс диффузии в открытой трубе из кремнийорганических пленочных диффузантов (в основном на основе тетраэтоксисилана) с соединениями цинка. Этот метод по сравнению с другими известными методами [1] наиболее контролируем, позволяет сохранить исходную морфологию поверхности при диффузии через тонкую пленку  $SiO_2$ , предварительно нанесенную на поверхность полупроводника, и получать более воспроизводимые результаты [1, 2].

В данной работе впервые приводятся результаты исследования диффузии  $Zn$  в  $InP$  и изопериодические с ним твердые растворы из разработанных нами полимерных пленочных диффузантов, нанесенных непосредственно на поверхность полупроводника.

Пленкообразующий полимер с растворенным в нем соединением наносился на центрифуге непосредственно перед процессом диффузии на подложки нелегированного  $(100) InP$  ( $n = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ), полуизолирующего  $(100) InP : Fe$  ( $\rho \sim 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ) и слой  $InGaAs$  и  $InGaAsP$  ( $n = (1 \dots 5) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ ), выращенные методом жидкофазной эпитаксии на подложках  $(100) InP$ .

Диффузия проводилась в кварцевом реакторе в потоке водорода; образцы находились в графитовой кассете с крышкой. Интервал рабочих температур составлял  $440 \dots 700 \text{ }^\circ\text{C}$ , а время процесса после нагрева до рабочей температуры составляло от 15 до 120 мин. Точность поддержания  $\pm 0.5^\circ$ .

Определялась глубина залегания  $p-n$ -перехода, концентрация и профиль концентрации легирующей примеси в диффузионном слое. а также измерялись ВАХ  $p-n$ -переходов мезаструктур диаметром 100 мкм, сформированных фотолитографией.

Глубина залегания  $p-n$ -перехода определялась под микроскопом на поперечных сколах образцов после селективного травления.

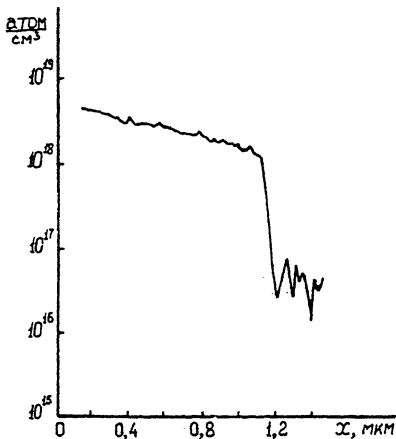


Рис. 1. SIMS-профиль распределения  $Zn$  в диффузионном слое, полученном в нелегированном  $InP$  при температуре  $440^\circ C$  в течение 2 часов.

Профиль концентрации  $Zn$  в  $InP$  определялся методом вторично-ионной масс-спектрографии (SIMS) на приборе IMS 4F (CAMECA), для травления использовался пучок ионов  $O_2^+$  с энергией 2 кВ. Калибровка производилась по ионно-имплантированному стандарту, что позволило добиться удовлетворительной точности измерений.

Концентрация носителей в диффузионных слоях определялась C-V методом с использованием ртутного зонда диаметром 600 мкм и методом Ван-дер-Пау.

Характерной особенностью разработанного метода диффузии является отсутствие заметных нарушений морфологии поверхности  $InP$ ,  $InGaAs$  и  $InGaAsP$  в процессе диффузии за время от десяти минут до нескольких часов при температурах  $440...500^\circ C$ , а при температурах выше  $600^\circ C$  - только для коротких, не превышающих нескольких минут процессов.

Максимальные значения концентрации дырок в диффузионных слоях  $InP$ ,  $InGaAs$  и  $InGaAsP$  составляли  $(2...4) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Концентрация введенного  $Zn$  на этих же слоях, по данным SIMS, совпадает с этими значениями в пределах точности методики измерений и позволяет говорить о высокой степени активации  $Zn$  в диффузионных слоях.

На рис. 1 представлен SIMS-профиль распределения  $Zn$  в диффузионном слое, полученном в нелегированном  $InP$  при температуре  $440^\circ C$  в течение 2 часов. Аналогичный вид имеют профили распределения  $Zn$  в слоях  $InGaAs$  и  $InGaAsP$ .

Вид профиля достаточно типичен для диффузионного распределения  $Zn$  в  $A_3B_5$ , наблюдаемого различными авторами при диффузии

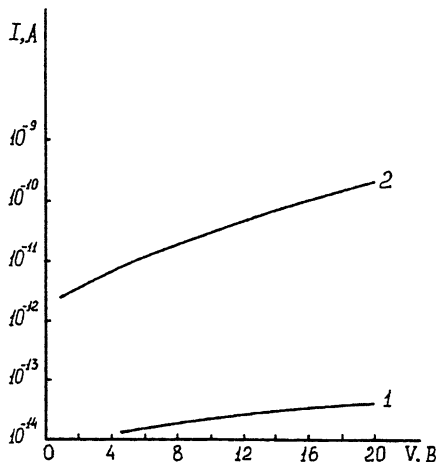


Рис. 2. Обратные ветви ВАХ мезоструктур диаметром 100 мкм, сформированных на диффузионных слоях  $InP$  (1) и  $InGaAs$  (2).

в откачанной ампуле [3, 5] и в открытых системах [2, 4]. Обычно такой вид распределения, имеющий медленный и быстрый участки, объясняют в рамках диссоциативного механизма [5].

Оценки коэффициента диффузии при таком механизме затруднены и многие авторы [6, 8] для количественного сравнения данных используют величину  $(\Delta x)^2/t$ , где  $\Delta x$  — глубина залегания р-п-перехода,  $t$  — время диффузии, рассматривая ее как эффективный коэффициент диффузии ( $D_{эфф}$ ).

Наблюдаемые значения  $D_{эфф}$  ( $D_{эфф} \cdot InP = 6 \cdot 10^{-12}$  см<sup>2</sup>/с;  $D_{эфф} \cdot InGaAs = 2 \cdot 10^{-12}$  см<sup>2</sup>/с при 500 °С) хорошо согласуются со значениями других авторов [6]. Наименьшие значения  $D_{эфф}$  при прочих равных условиях наблюдаются для  $InGaAs$ .

Временные и температурные зависимости наиболее полно исследованы для  $InP$ .

В интервале температур 440...600 °С глубина залегания р-п-перехода зависит от времени как  $\sqrt{t}$ , с ростом температуры наблюдается увеличение  $D_{эфф}$ .

На рис. 2 приведены обратные ветви ВАХ мезоструктур диаметром 100 мкм, сформированных на диффузионных слоях  $InP$  и  $InGaAs$ . Значения токов не уступают или превосходят лучшие из опубликованных в литературе [9, 10].

Приведенные результаты позволяют говорить о возможности практического применения разработанного метода при производстве приборов на основе  $A_3B_5$ .

В заключение авторы выражают благодарность Е.Г. Гук за плодотворные обсуждения, Б.Я. Беру и А.В. Жукову за помощь в измерениях.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Arnold N., Schmitt R., Heime K. // J. Phys. D: Appl. Phys. 1984. V. 17. N 3. P. 443-474.
- [2] Knig U., Haspeklo H., Marschall P., Kuisl M. // J. Appl. Phys. 1989. V. 65. N 2. P. 548-552.
- [3] Matsumoto Y. // Jap. J. Appl. Phys. 1983. V. 22. N 11. P. 1699-1704.
- [4] Albrecht H., Lauterbach Ch. // Jap. J. Appl. Phys. Part 2. 1986. V. 25. N 7. P. L589-L591.
- [5] van Gurp G.J., van Donge T., Fontijn G.M. et al. // J. Appl. Phys. 1989. V. 65. N 2. P. 553-560.
- [6] Glade M., Hergeth J., Grütz-macher D. et al. // J. Cryst. Growth. 1991. V. 108. N 1-4. P. 449-454.
- [7] Wielsch U., Ambrée P., Gruska B. // Semicond. Sci. Techn. 1990. V. 5. N 9. P. 923-927.
- [8] Kuphal E. // J. Cryst. Growth. 1981. V. 54. N 1. P. 117-126.
- [9] Андреев В.М., Гореленок А.Т., Жингарев М.З. и др. // ФТП. 1985. Т. 19. В. 4. С. 668-673.
- [10] Wada V., Seko M., Sakakibara K. et al. // Jap. J. Appl. Phys. Part 2. 1990. V. 29. N 3. P. L401-L404.

Физико-технический  
институт им. А.Ф. Иоффе РАН,  
С.-Петербург

Поступило в Редакцию  
18 июня 1992 г.