

- [1] Rutz R. // US Patent. N. Y., 1983. N 4.382.837.
 [2] Нурмагомедов Ш. А., Пихтин А. Н., Разбегаев В. Н., Сафаралиев Г. К., Таиров Ю. М., Цветков В. Ф. // Письма ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 17. С. 1043—1045.
 [3] Van-Vechten A. Handbook of Semiconductors. V. 3. Amsterdam, 1980. 353 p.
 [4] Van-Vechten A. // Proc. 10 Int. Conf. Phys. Semicond. Massachusetts, 1970. P. 602—606.
 [5] Пихтин А. Н. // ФТП. 1977. Т. 11. В. 3. С. 425—455.

Ленинградский электротехнический
 институт им. В. И. Ульянова (Ленина)

Получено 16.05.1988
 Принято к печати 8.06.1988

ФТП, том 23, вып. 1, 1989

ДИФфуЗИОННОЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАРГАНЦА В GaAs

Скорятина Е. А., Малкович Р. Ш.

При термообработке соединений $A^{III}B^V$ наблюдается аномальное диффузионное перераспределение ряда примесей в объеме кристалла (Cr [¹⁻⁴], Mn [^{1, 2, 5, 6}], Fe [^{1, 2}], Mg [^{7, 8}], Zn [⁸], Cd [⁸], Be [⁹], Si [⁹], In [¹⁰] в GaAs, Cr [^{1, 2, 11}], Fe [^{1, 2, 11}], Mn [¹¹], Zn [¹¹], Be [¹²], Ag [¹³] в InP). Характерной особенностью такого перераспределения является накопление (геттерирование) примеси в приповерхностной области образца, приводящее в полуизолирующем материале к формированию низкоомных слоев, резко ухудшающих параметры приборов, изготовленных на основе такого материала.

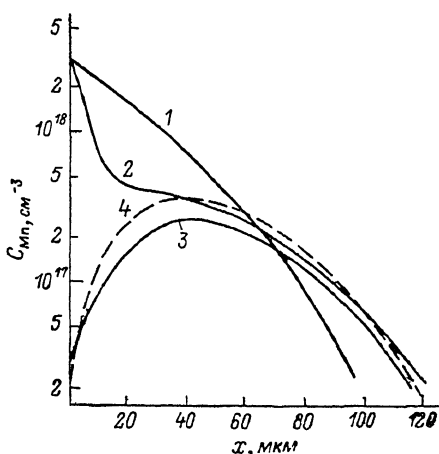
Настоящее исследование предпринято с целью анализа причин, обуславливающих аномальное перераспределение марганца в GaAs, а также с целью получения дополнительных сведений о механизме диффузии этой примеси. Ранее исследовалось перераспределение остаточного марганца в процессе термообработки как исходного материала [^{1, 2, 6}], так и образцов, предварительно имплантированных другой примесью (Si, Se, Cd) [⁵]. При этом использовались методы масс-спектро스코пии вторичных ионов, фотолюминесценции и электропроводности. В отличие от упомянутых работ в настоящей работе исследовалось перераспределение не остаточного, а радиоактивного марганца, предварительно введенного в кристалл GaAs на определенную глубину диффузией из слоя, нанесенного на поверхность. При этом перераспределение радиоактивного марганца проводилось в присутствии слоя стабильного, нерадиоактивного марганца на поверхности кристалла, что, в частности, позволило по изменению профиля радиоактивного марганца в процессе перераспределения определить независимым образом величину коэффициента диффузии марганца в GaAs. Методика эксперимента была аналогична описанной в работе [¹⁴].

Использовались пластины легированного оловом n -GaAs ($n=5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$). На одну из поверхностей пластины наносилось небольшое количество раствора MnCl_2 , содержащего радиоактивный марганец ^{54}Mn . После подсушивания пластины помещались в кварцевые ампулы объемом $\sim 4 \text{ см}^3$, откачавшиеся до давления $\sim 10^{-4} \text{ Нг}$. Вместе с пластинами в ампулы помещались навески мышьяка. Диффузия проводилась при 1100°C в течение 4 ч. После диффузии источник удалялся с поверхности травлением, и образцы сошлифовывались на глубину $h=2\div 4 \text{ мкм}$. Затем на сошлифованную поверхность по описанной выше методике наносился источник нерадиоактивного марганца, и образцы подвергались повторному отжигу при 1100°C и том же времени. Одновременно в тех же условиях, но в других ампулах отжигались контрольные образцы с введенным радиоактивным марганцем, но без нерадиоактивного марганца на поверхности. Диффузионные профили определялись путем сошлифовывания тонких слоев ($2\div 5 \text{ мкм}$) и измерения их γ -активности.

Диффузионные профили введенного марганца (см. рисунок, кривая 1) удовлетворительно описывались функцией erfc , соответствующей диффузии в полупространстве при постоянной поверхностной концентрации и постоянном коэффициенте диффузии D . Полученные при этом значения D ($D=4.3 \cdot 10^{-10}$ см²/с) удовлетворительно согласуются со значениями, полученными в работах [14, 15].

После повторного отжига диффузионный профиль в образцах со слоем нерадиоактивного марганца на поверхности становится немонотонным, концентрация ⁵⁴Mn вблизи поверхности резко уменьшается (кривая 2). Напротив, в контрольных образцах концентрация ⁵⁴Mn монотонно возрастает по мере приближения к поверхности (кривая 3). В обоих случаях после повторного отжига общее количество оставшейся радиоактивной примеси уменьшается, однако в контрольных образцах этот эффект выражен гораздо слабее: доля оставшейся примеси в рабочих образцах ~20, а в контрольных — ~60—70 %.

В предположении, что диффузия марганца может быть описана законом Фика ($D=\text{const}$) и что поверхностная концентрация ⁵⁴Mn равна нулю, мы вычислили коэффициент диффузии марганца для образцов со слоем нерадиоактивного марганца из профиля повторного отжига. Для этого мы воспользовались общей формулой для диффузии в полупространстве со связывающей границей [16]



Перераспределение ⁵⁴Mn в GaAs при наличии нерадиоактивного слоя MnCl₂ на поверхности (2) и без него (3).

1 — исходный профиль ⁵⁴Mn; 4 — теоретическая кривая ($T=1100$ °C, $t=4$ ч, навеска мышьяка в ампуле ~1 мг).

$$c(x, t) = \frac{1}{2\sqrt{\pi Dt}} \int_0^{\infty} c(\xi) \left[e^{-\frac{(\xi-x)^2}{4Dt}} - e^{-\frac{(\xi+x)^2}{4Dt}} \right] d\xi,$$

где $c(\xi)$ — профиль введенного марганца, t — продолжительность повторного отжига, D — коэффициент диффузии ⁵⁴Mn при повторном отжиге. Профиль введенного марганца записывался в виде

$$c(\xi) = c_0 \operatorname{erfc} \frac{\xi + h}{2\sqrt{D_0 t_0}},$$

где c_0 — поверхностная концентрация, D_0 и t_0 — коэффициент диффузии и продолжительность первоначального отжига, h — толщина слоя, сошлифованного с образца перед повторным отжигом. Вычисленная из кривой повторного отжига величина коэффициента диффузии ($D=5 \cdot 10^{-10}$ см²/с) оказалась близкой к значению, найденному из кривой введенного марганца.

При интерпретации полученных результатов по перераспределению марганца мы исходили из представлений о том, что марганец размещается преимущественно в узлах подрешетки галлия, но диффундирует в основном по междоузлиям. При отжиге в условиях выполненного эксперимента, когда давление паров мышьяка в ампуле несколько превышало равновесное [17], вблизи поверхности генерируются вакансии галлия, диффундирующие в объем. В рабочих образцах эти вакансии быстро заполняются атомами нерадиоактивного марганца, присутствующего в большом количестве на поверхности образца. Вследствие этого генерируемые на поверхности вакансии галлия не оказывают заметного влияния на перераспределение радиоактивного марганца. Напротив, в контрольных образцах эти вакансии заполняются радиоактивным марганцем, оказывая существенное влияние на его перераспределение, что и приводит к наблюдаемому подъему профиля ⁵⁴Mn в приповерхностной области GaAs.

Авторы выражают искреннюю признательность Е. Д. Горнушкиной за содействие в выполнении настоящей работы.

- [1] Tuck B. // J. Phys. D: Appl. Phys. 1985. V. 18. N 4. P. 557—584.
 [2] Tuck B. // Semi-Insulating III—V Materials. Nottingham, 1984. P. 2—18.
 [3] Deal M. D., Stevenson D. A. // J. Appl. Phys. 1986. V. 59. N 7. P. 2398—2407.
 [4] Hsu J.-F., Nishino T., Hamakawa Y. // Japan. J. Appl. Phys. 1987. V. 26. N 5. P. 685—689.
 [5] Kanber H., Feng M., Whelan J. M. // J. Appl. Phys. 1984. V. 55. N 2. P. 347—352.
 [6] Sasaki Y., Sato T., Matsushita K., Hariu T., Shibata Y. // J. Appl. Phys. 1985. V. 57. N 4. P. 1109—1113.
 [7] Yeo Y. K., Park Y. S., Pedrott F. L., Choe B. D. // J. Appl. Phys. 1982. V. 53. N 9. P. 6148—6153.
 [8] Naik I. K. // J. Electrochem. Soc. 1987. V. 134. N 5. P. 1270—1275.
 [9] Morita T., Kobajashi J., Takamori T., Takamori A., Miyauchi E., Hashimoto H. // Japan. J. Appl. Phys. 1987. V. 26. N 8. P. 1324—1327.
 [10] Krawczyk S. K., Khoukh A., Olier R., Chabli A., Molva E. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 49. N 26. P. 1776—1778.
 [11] Gauneau M., Chaplain R., Rupert A., Rao E. V. K., Duhamel N. // J. Appl. Phys. 1985. V. 57. N 4. P. 1029—1035.
 [12] Oberstar J. D., Streetman B. G., Baker J. E., Williams P. // J. Electrochem. Soc. 1982. V. 129. N 6. P. 1312—1320.
 [13] Tuck B., Chaoui R. // J. Phys. D: Appl. Phys. 1984. V. 17. N 2. P. 379—385.
 [14] Скорятина Е. А. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 10. С. 1877—1880.
 [15] Seltzer M. S. // J. Phys. Chem. Sol. 1965. V. 26. N 2. P. 243—250.
 [16] Болтрак Б. И. Диффузия в полупроводниках. М., 1961. 147 с.
 [17] Nishizawa J., Otsuka H., Yamakoshi Sh., Ishida K. // Japan. J. Appl. Phys. 1974. V. 13. N 1. P. 46—52.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Получено 11.01.1988
Принято к печати 21.07.1988

ФТП, том 23, вып. 1, 1989

СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ GaAs, ВЫРАЩЕННЫХ НА ГЕРМАНИЕВЫХ ПОДЛОЖКАХ

Быковский В. А., Кольченко Т. И., Ломако В. М., Мороз С. Е.

В настоящее время интенсивно ведутся исследования, направленные на получение гетероэпитаксиальных структур GaAs/Si и GaAs/Ge, пригодных для изготовления приборов и интегральных схем (ИС). Предполагается, что использование подложек из Si и Ge, обладающих более высокой механической прочностью и теплопроводностью, позволит не только существенно снизить стоимость приборов и ИС на основе GaAs, но и достигнуть повышения их мощности и уровня интеграции [1—3]. К основным проблемам, которые необходимо решить в этом направлении, следует отнести устранение в активных областях структур антифазных границ и структурных дефектов, обусловленных рассогласованием кристаллических решеток GaAs и материала подложки.

В данной работе с помощью измерений емкостной спектроскопии и фотолюминесценции исследовалось совершенство эпитаксиальных слоев арсенида галлия, выращенных на германиевой подложке (GaAs/Ge), в сравнении с полученными в том же технологическом процессе слоями GaAs на подложках из арсенида галлия (GaAs/GaAs).

Эпитаксиальные слои толщиной ~ 2 мкм были выращены МОС гидридным методом при $710 \div 730$ °С. В качестве подложек использовались пластины сильно легированного n -GaAs ($n_0 \approx 10^{18}$ см $^{-3}$) и пластины n -Ge ($\rho = 0.12 \div 0.28$ Ом·см), ориентированные с отклонением от (100) на угол 3° в направлении [110]. Проводились измерения C — V -характеристик, нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней (НЕСГУ) и фотолюминесценции. Для емкостных исследований использовались структуры с барьером Шоттки Al—GaAs.