

- [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.

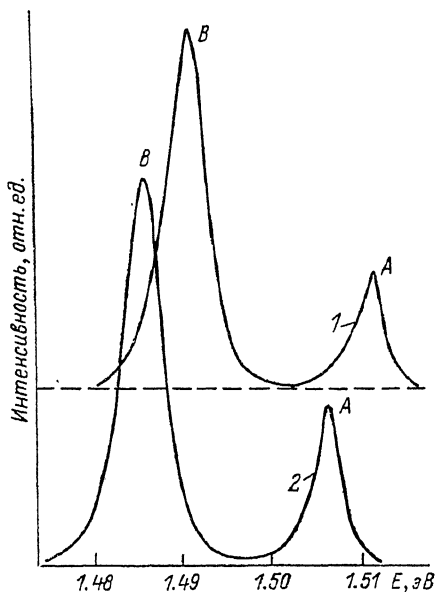
В данной работе с помощью измерений емкостной спектроскопии и фотолюминесценции исследовалось совершенство эпитаксиальных слоев арсенида галлия, выращенных на германиевой подложке (GaAs/Ge), в сравнении с полученными в том же технологическом процессе слоями GaAs на подложках из арсенида галлия (GaAs/GaAs).

Эпитаксиальные слои толщиной  $\sim 2$  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  $3^\circ$  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.

Измерения показали, что исследуемые эпитаксиальные слои обоих типов характеризуются достаточной однородностью легирования по толщине. Концентрация электронов в них составляла  $9 \cdot 10^{15}$  и  $1.1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  для GaAs/GaAs и GaAs/Ge соответственно. В спектрах НЕСГУ, снятых в широком интервале скоростей эмиссии, в обоих случаях присутствовал лишь один пик электронной эмиссии с  $E_a = 0.77$  эВ, параметры которого соответствуют известному центру *EL2*. Концентрация этого центра в структуре GaAs/Ge составила  $5.6 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ , что лишь незначительно превышает соответствующее значение ( $3.7 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ) для GaAs/GaAs. Спектр глубоких уровней в слоях GaAs, полученных МОС гидридным методом на подложках из Ge, недавно исследовался в [3], где было установлено, что в однодоменных слоях GaAs/Ge с  $n_0 \approx 2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , как и в слоях GaAs/GaAs, присутствует только центр *EL2*. В структурах GaAs/Ge с антифазными доменами в спектрах НЕСГУ наблюдался сложный пик с  $E_a = 0.3 \div 0.39$  эВ, а пик *EL2* отсутствовал. На основании приведенных данных можно заключить, что исследованные в настоящей работе слои GaAs/Ge являются однодоменными.

В спектрах фотолюминесценции структур при 4.2 К наблюдались две основные полосы излучения *A* и *B* (см. рисунок). Энергетическое положение полосы *A* (1.512 эВ) в слоях GaAs/GaAs и ее полуширина ( $\sim 5$  мэВ) позволяют связать ее с переходами типа мелкий донор—валентная зона. Энергетическое положение (1.4910 эВ) и полуширина ( $\sim 5$  мэВ) полосы *B* позволяют отнести ее к межпримесным переходам донор—акцептор с участием акцепторов углерода ( $E_a = 26$  мэВ) [4–6]. Значительная интенсивность этой полосы в нашем случае по сравнению, например, со слоями, полученными по хлоридной технологии, указывает на высокую концентрацию остаточного углерода, что, по-видимому, характерно для МОС гидридной эпитаксии GaAs [6]. Абсолютные и относительные интенсивности полос *A* и *B* в слоях GaAs/GaAs и GaAs/Ge примерно одинаковы. Вместе с тем в случае GaAs/Ge по отношению к GaAs/GaAs наблюдается синхронный сдвиг ( $\sim 5$  мэВ) полос *A* и *B* в низкоэнергетическую область, обусловленный наличием в структуре GaAs/Ge упругих напряжений. Расчеты показывают, что для слоев GaAs/Ge величина напряжений, обусловленных несоответствием параметров решеток GaAs и Ge, должна составлять  $\sim 1 \cdot 10^8$  Па. С учетом величины наблюдаемого сдвига полос люминесценции и известного коэффициента зависимости края полосы поглощения GaAs от давления были оценены упругие напряжения в исследованной нами структуре GaAs/Ge. Их величина оказалась равной  $\sim 5 \cdot 10^7$  Па, что примерно соответствует расчетному значению.

В низкоэнергетической области спектра для структур GaAs/Ge обнаружены слабые полосы излучения 1.413 и 1.403 эВ. Их интенсивность была примерно в  $10^3$  раз меньше интенсивности околор краевого излучения. В соответствии с данными [5] эти полосы можно связать с остаточной примесью марганца. В структурах GaAs/GaAs в низкоэнергетической области спектра наблюдался ряд широких полос, интенсивность которых примерно в 8–10 раз превышала интенсивность примесного излучения в GaAs/Ge. Указанные полосы, по-видимому, частично обусловлены рекомбинацией неравновесных носителей на примесях и дефектах структуры в подложке вследствие их диффузии из относительно тонкого эпитаксиального слоя и переизлучением. Слабая интенсивность при-



Типичные спектры фотолюминесценции при 4.2 К слоев GaAs, выращенных на подложках GaAs (1) и Ge (2).

Спектральное разрешение 0.3 мэВ.

месного излучения в слое GaAs/Ge указывает на достаточное совершенство пленки и незначительную концентрацию остаточных глубоких примесей.

Было проведено также сравнение стабильности электрических свойств исследуемых структур по отношению к воздействию  $\gamma$ -квантов  $^{60}\text{Co}$ . Установлено, что в обоих случаях энергетический спектр вводимых облучением электронных ловушек содержит характерные для облученного *n*-GaAs центры *E2—E5* [7]. Значения скоростей введения этих ловушек и скорости удаления носителей заряда для структуры GaAs/Ge практически совпадают с соответствующими значениями для GaAs/GaAs.

Представленные экспериментальные данные позволяют заключить, что исследованные эпитаксиальные слои GaAs/Ge по своим электрическим, оптическим свойствам, а также по отношению к воздействию частиц высоких энергий практически не уступают слоям, выращенным традиционным способом на подложках из GaAs, и могут быть использованы для изготовления приборов.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Mizuguchi K., Hayafuji N., Ochi S., Mirotoni T., Fujikawa K. // J. Cryst. Growth. 1986. V. 77. N 1-3. P. 509—514.
- [2] Shastry S. K., Zemon S. // Appl. Phys. Lett. 1986. V. 49. N 8. P. 467—469.
- [3] Kobayashi Y., Ikeda K., Shinoda J. // Electron. Lett. 1987. V. 23. N 5. P. 242—244.
- [4] Зорин А. Д., Каратаев Е. Н., Машевский Л. Г., Сивичев М. А., Федорова О. М., Фещенко И. А., Явич Б. С., Яковенко А. А. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 12. С. 2163—2168.
- [5] Берг А., Дин П. Светодиоды. М., 1979. 686 с.
- [6] Roth A. P., Charbonneau S., Goodchild R. G. // J. Appl. Phys. 1983. V. 54. N 9. P. 5350—5357.
- [7] Ланг Д. // Точечные дефекты в твердых телах. М., 1979. С. 187—220.

Научно-исследовательский институт  
прикладных физических проблем  
им. А. Н. Савченко БГУ им. В. И. Ленина  
Минск

Получено 24.03.1988  
Принято к печати 21.07.1988

ФТП, том 23, вып. 1, 1989

### ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ In И Si НА ЛИНЕЙНОЕ ЭЛЕКТРОПОГЛОЩЕНИЕ В CdTe

Мартынов В. Н., Соловьев А. Н., Шалдин Ю. В., Зерагия Э. М.

В халькогенидах кадмия и цинка примеси взаимодействуют с собственными точечными дефектами решетки с образованием самых разнообразных комплексов, которые могут быть анизотропными, оптически активными центрами [1]. Для их изучения используют различные методы [2]. Нами предложена методика изучения примесно-дефектных комплексов на основе линейного электропоглощения поляризованного и деполаризованного света (ЛЭП), которое зависит от характера симметрии поглощающих центров в кристаллической решетке полупроводника [3].

Исследование выполнено на ориентированных монокристаллических образцах CdTe, не легированных и легированных индием и хлором. Не легированные и легированные хлором образцы имели проводимость *p*-типа и удельное сопротивление  $5 \cdot 10^4$  и  $3 \cdot 10^8$  Ом·см соответственно, а легированные индием — проводимость *n*-типа и  $\rho = 2 \cdot 10^7$  Ом·см.

Измерения ЛЭП проводили в спектральном интервале от 1.2 до 1.7 эВ в линейно поляризованном и деполаризованном излучениях на ориентированных образцах размером  $6.1 \times 5.2 \times l$ , где *l* — толщина образцов (она варьировалась от 0.07 до 2 мм). Материалом для электродов служила индий-галлиевая паста, наносимая на грани (110). Направление распространения света соответствовало  $\langle 110 \rangle$ . Детально методика измерений описана в [4].