

# Math-Net.Ru

All Russian mathematical portal

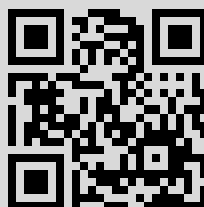
V. V. Negreskul, V. G. Trofim, V. A. Chumak, V. V. Dorogan,  
Emitting properties of *GaAs* epitaxial layers  
separated from sublayers, *Pisma v Zhurnal  
Tekhnicheskoi Fiziki*, 1985, Volume 11,  
Issue 9, 550–553

Use of the all-Russian mathematical portal Math-Net.Ru  
implies that you have read and agreed to these terms of use  
<http://www.mathnet.ru/eng/agreement>

Download details:

IP: 81.180.74.152

March 19, 2021, 13:33:15



ИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ  $GaAs$ , ОТДЕЛЕННЫХ ОТ ПОДЛОЖКИ

В.В. Дороган, В.В. Негрескул,  
В.Г. Трофим, В.А. Чумаков

В последние годы наблюдается возрастающий интерес к созданию солнечных элементов (СЭ) на гетероструктурах  $(Al, Ga)As$ , отделенных от монокристаллической подложки  $GaAs$ . Отделение осуществлялось с целью многократного использования подложки [1-3]. Методики отделения структур СЭ от несущей подложки, предложенные в работах [2, 3], основаны на селективном травлении промежуточного слоя твердого раствора  $Al_xGa_{1-x}As$  ( $x = 0.8$ ), вырабатываемого на подложке перед ростом совокупности слоев образующих структуру СЭ (обычно первым в этой совокупности был слой  $GaAs$ ).

Задачей настоящей работы являлось исследование излучательных свойств нелегированных и легированных  $Zn, Sn, Ge$  и  $Si$  слоев  $GaAs$  после их отделения от несущей подложки, а также установление влияния промежуточного слоя  $Al_xGa_{1-x}As$  на свойства отделенных от подложки слоев.

Структуры получались методом жидкофазной эпитаксии в кассетах поршневого типа. Исследовались отделенные от подложки эпитаксиальные  $n$ - и  $p$ -слои  $GaAs$  с варизонным первоначальным участком  $Al_yGa_{1-y}As$  ( $y < 0.3$ ). В качестве исходных подложек использовались пластины  $GaAs$  марки АГЧО с концентрацией свободных носителей заряда  $5 \cdot 10^{17} \div 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  ориентации (100) и (111) В. Промежуточный слой  $Al_xGa_{1-x}As$  ( $0.7 < x < 0.85$ ) выращивался толщиной 10-25 мкм при температурах начала роста 960-850 °С. Слои выращивались в интервале температур 850-750 °С, причем раствор-расплав для роста промежуточного слоя  $Al_xGa_{1-x}As$  вытеснялся раствором-расплавом, не содержащим  $Al$ , объем которого в 2 раза превышал ростовой объем. При этих условиях рост слоя  $GaAs$  сопровождался кристаллизацией варизонного слоя  $Al_yGa_{1-y}As$  с начальным составом ( $y \leq 0.3$ ), толщина которого составляла  $0.8 \div 2$  мкм. Состав переходного слоя определялся по методике послойного травливания и регистрации краевой фотolumинесценции при 77 К. Ширина запрещенной зоны переходных слоев уменьшалась по линейному закону с наклоном  $20 \div 25 \text{ эВ/см}$ .

В спектрах излучения исходной подложки  $n-GaAs$  наряду с краевой полосой при 1.527 эВ наблюдалась интенсивная и широкая полоса при энергиях фотонов 1.2 эВ (кривая 1, рис. 1). Это указывает на содержание в большом количестве ( $1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ ) центров, в состав которых входит примесь  $Sn_{Ga}$  и вакансия атома  $Ga$ , что является характерным для объемных монокристаллов [4].

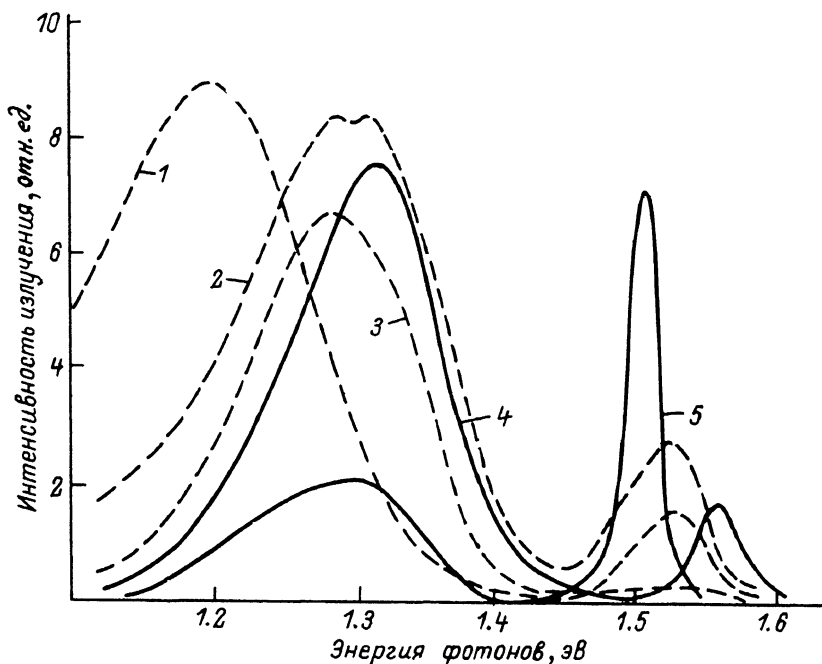


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции: прерывистые — подложка  $n\text{-GaAs:Sn}$ ; сплошные — отделенный слой  $n\text{-GaAs:Sn}$ ; 1 — без термообработки; 2-5 — термообработка в процессе ЖФЭ ( $T = 950\text{--}750\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $V_{\text{охл.}} = 0.4\text{ }^\circ\text{C/мин}$ ).

В условиях процесса жидкофазной эпитаксии ( $T = 960\text{--}750\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t = 5\text{ ч}$ ) из подложки посредством диффузии может происходить частичный уход атомов мышьяка в окружающую среду. Это должно привести к изменению в спектрах излучения подложки. На рис. 1 представлены спектры фотолюминесценции тыльной поверхности подложки (кривая 3), на которой выращивался слой  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ . Видно, что появляется полоса с максимумом при энергиях фотонов  $1.28\div 1.30\text{ эВ}$ , интенсивность которой становится больше при открытой поверхности подложки (рис. 1, кривая 2). Согласно [5], появление такой полосы может быть обусловлено частичным уходом атомов мышьяка из подложки и образованием вакансий в соответствующих узлах кристаллической решетки. Уменьшение интенсивности краевого излучения поверхности подложки, на которой выращивался слой  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  (кривая 3, рис. 1), связано, по нашему мнению, с наличием дефектов на границе раздела подложка-слой. Такой же эффект наблюдался в тонких слоях  $\text{GaAs}$ , отделенных от подложки (кривые 4, 5, рис. 1), где кривая 4 снималась с поверхности варизонного слоя  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  непосредственно после процесса отделения, а кривая 5 снята после травления слоя на глубину 15 мкм. Видно, что люминесцентные свойства тонкой пленки  $\text{GaAs:Sn}$  улучшаются по мере удаления от границы раз-

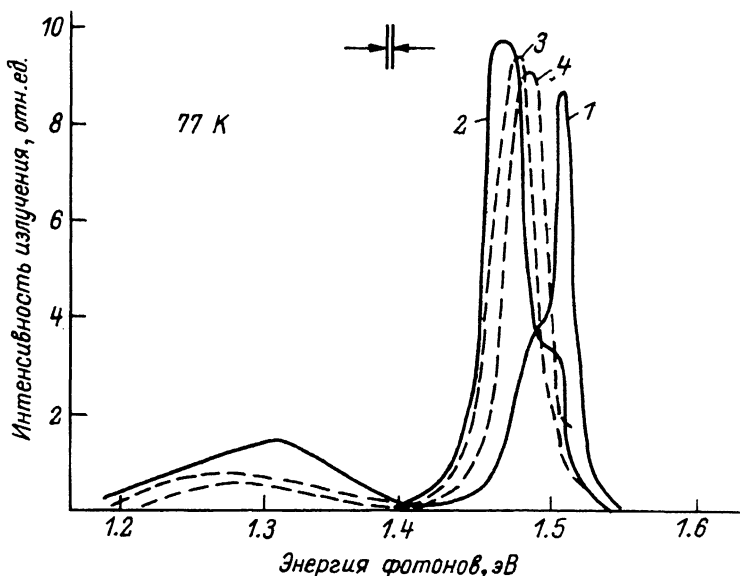


Рис. 2. Спектры фотолуминесценции отделенных слоев: 1 - нелегированные; 2, 3, 4 - легированные соответственно *Ge*, *Si*, *Zn*.

дела  $Al_xGa_{1-x}As - Al_yGa_{1-y}As$ , при этом краевое излучение становится преобладающим (сравните кривые 4 и 5 на рис. 1).

Анализ спектров фотолуминесценции эпитаксиальных слоев *GaAs* с примесями *Ge*, *Si*, *Zn* (кривые 2, 3, 4, рис. 2) указывает на значительное понижение интенсивности полосы при 1.30 эВ в случае легирования *Zn* и *Si* и ее полного отсутствия при легировании *Ge*. Это объясняется тем, что при указанных температурах кристаллизации германий локализуется в узлах подрешетки мышьяка, что обуславливает резкое уменьшение вакансий мышьяка.

Аналогичное поведение должно наблюдаться и при легировании *Si*, который, как и *Ge*, является амфотерной примесью в *GaAs*. Однако у кремния температура перехода от *n* к *p* типу проводимости ниже, чем для германия, и при наших температурах эпитаксии частично локализуется в подрешетке *Ga*, а большая часть - в подрешетке *As*. Поэтому полоса при 1.30 эВ не исчезает полностью, как в случае легирования германием.

В случае легирования цинком, атомы которого в большей степени локализируются в узлах подрешетки *Ga*, в спектрах излучения слоев *GaAs* ( $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ) проявляются переходы, соответствующие акцепторному уровню цинка ( $h\nu \approx 1.483 \text{ эВ}$ ), и переходы, соответствующие уровню кремния ( $h\nu \approx 1.48 \text{ эВ}$ ) [7]. По-видимо-

му, атомы цинка вытесняют из подрешетки галлия атомы  $Si$ , которые локализовываются в подрешетке  $As$ , что в конечном итоге приводит к уменьшению вакансий  $As$  и гашению полосы при 1.30 эВ.

Таким образом, можно заключить, что люминесцентные свойства отделенных от подложки слоев  $GaAs$  практически не изменяются в процессе отделения. Следует отметить, что на основе таких слоев были изготовлены СЭ с КПД фотопреобразования ~15%.

### Л и т е р а т у р а

- [1] Fan L., Bozler C., Mc Clelland R. Thin-film GaAs solar cells. 15-th IEEE Photovoltaic Spec. Conf., Kissimmee Fla, May 12-15, 1981, New York, 1981, p. 666-672.
- [2] Дороган В.В., Трофим В.Г., Чумаков В.А., Яковлев В.П. Получение дешевых солнечных элементов в системе  $Al-GaAs$ . В кн.: Тез. докл. III-й Всес. конф. по физическим процессам в полупроводниковых гетероструктурах. Одесса, 7-9 июня 1982 г. Одесса: 1982, т. 1, с.127-129.
- [3] Брынзарь В.И., Дороган В.В., Иванов М.Б., Трофим В.Г., Чумаков В.А., Чебан Л.И. Тонкопленочные солнечные элементы (ТСЭ) на гетеропереходах  $(Al, Ga)As$ . - Письма в ЖТФ, 1984, т. 10, № 8, с. 455-459.
- [4] Williams E.W. Evidence for self-activated luminescence in GaAs the gallium vacancy-donor center. - Phys. Rev., 1968, v. 168, N 3, p. 3922-3928.
- [5] Алферов Ж.И., Гарбузов Д.З., Морозов Е.П. Влияние термообработки на фотолюминесценцию  $GaAs$ . - ФТП, 1966, т. 8, № 11, с. 3236-3240.
- [6] Kressel H., Eitenberg M. Electroluminescence and photoluminescence of GaAs:Ge prepared by liquid epitaxy. - Appl. Phys. Lett., 1973, v. 23, N 9, p. 511-513.
- [7] Kressel H., Dunse J.U., Nelson H., Hawrulo F. Luminescence in silicon-doped GaAs grown liquid Phase epitaxy. - J. Appl. Phys., 1968, v. 39, N 4, p. 2006-2011.

Кишиневский политехнический институт им. Сергея Лазо

Поступило в Редакцию  
12 декабря 1984 г.