

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

Поступило в Редакцию
12 декабря 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 4
06.2

26 февраля 1990 г.

© 1990

КРАЙ ПОГЛОЩЕНИЯ ВАРИЗОННЫХ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ $InAs_{1-x}Sb_x$ ($x \leq 0.54$)

Н.В. Зотова, А.В. Лосев,
Б.А. Матвеев, Н.М. Стусь,
Г.Н. Талалакин, А.С. Филиппенко

В последнее время активно исследуется возможность создания длинноволновых ($8 < \lambda < 14$ мкм) источников и приемников излучения на основе полупроводниковых твердых растворов $InAs - InSb$ [1]. Одной из трудностей, существующих при создании таких приборов, является большое несоответствие периодов решеток эпитаксиального слоя и бинарной подложки, что ограничивает область составов, получаемых стандартными методами, например методом ЖФЭ [2].

Возможным способом решения проблемы получения методом ЖФЭ узкозонных слоев $InAs_{1-x}Sb_x$ ($0.4 < x < 0.7$) является выращивание градиентных слоев в условиях высокой пластичности подложки, когда основная часть напряжений снимается за счет процессов пластической деформации, происходящих в подложке и сопровождающихся ее изгибом [3]. Однако до настоящего времени этот способ для получения градиентных эпитаксиальных слоев (ЭС) $InAs_{1-x}Sb_x$ ($x > 0.19$) не применялся, а исследования оптических свойств градиентных слоев этого твердого раствора, в том числе полученных на пластически деформированных подложках, не проводились.

Цель данной работы состояла в получении и исследовании узкозонных твердых растворов $InAs_{1-x}Sb_x$ с $x \leq 0.54$.

Образцы для исследования получали кристаллизацией из расплава на подложках $InAs$ (111) размерами 10×12 мм² при принудительном охлаждении, начиная с $680-720$ °С. На рис. 1 приведено распределение состава по толщине ЭС (кривые x_1, x_2, y_1, y_2) а также значения ширины запрещенной зоны $InAs_{1-x-y}Sb_xPy$, полученные для комнатной температуры по соотношениям из [2] (для составов с $y \neq 0$ использовались формулы из [4] с учетом температурного смещения E_g , равного 60 мэВ). В рамках допущения

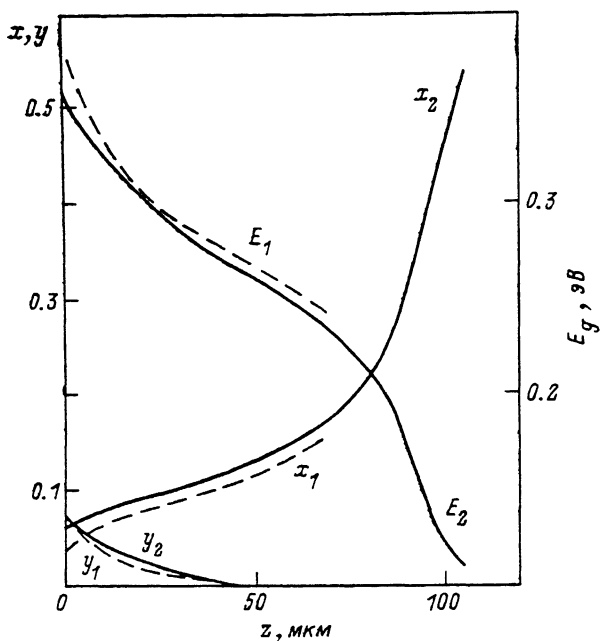


Рис. 1. Распределение состава по толщине ЭС $InAs_{1-x-y}Sb_xPy$. (x_1, y_1) , (x_2, y_2) — концентрации $InSb$ и InP в образцах № 1 и № 2 соответственно. $E_1 = E_g(x_1, y_1)$, $E_2 = E_g(x_2, y_2)$. $z=0$ — гетерограница.

о том, что $grad E_g = const$ вблизи узкозонной поверхности, где в основном происходит поглощение, градиент ширины запрещенной зоны имеет значения $grad E_g = 2$ эВ/мкм и $grad E_g = 1.4$ мэВ/мкм для образцов с $x=0.54$ и $x=0.15$ соответственно. На поверхности образцов с $x > 0.3$ был виден сетчатый рельеф, характерный для ЭС, растущих в условиях больших напряжений несоответствия.

Спектры оптической плотности $D = -\ln t$ (рис. 2), где t — прозрачность ЭС, состояли, как правило, из двух экспоненциального ($D = D_0 \cdot \exp((h\nu - E_{gmin})/E)$) и линейного ($D = D_0 + \alpha_0/\nabla(h\nu - E_{gmin})$) участков. Такое изменение D с энергией кванта характерно для варизонных слоев с линейным по координате изменением ширины запрещенной зоны вблизи узкозонной поверхности полупроводника. Ширина запрещенной зоны на узкозонной поверхности полупроводника (E_{gmin}) определяется энергией, при которой спектр оптической плотности имеет точку перегиба [5]. Значение оптической плотности в точке перегиба при $h\nu = E_{gmin}$ равно $\frac{\alpha_0 E}{\nabla}$, где $\frac{\alpha_0}{\nabla}$ — наклон зависимости $D(h\nu)$ в линейном масштабе, определяемый

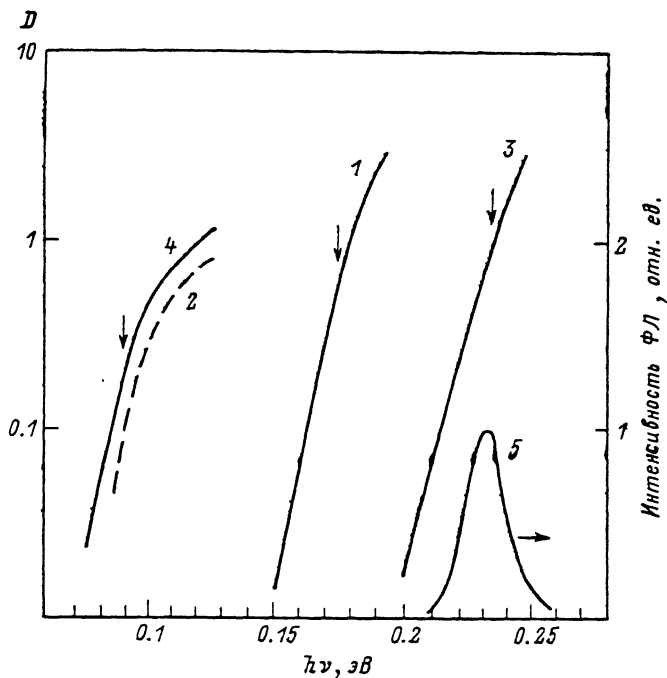


Рис. 2. Спектры оптической плотности и ФЛ слоев. Температура: 1, 2, 4 - 300 К; 3, 5 - 77 К. 4 - спектр образца с удаленной подложкой. Стрелками указана энергия, при которой $D = \alpha_0 \epsilon / \gamma$.

из спектра при $h\nu > E_{gmin}$. Значения E_{gmin} для образцов с $x = 0.15$ и $x = 0.54$ составляли соответственно 160 и 90 мэВ.

Для образцов с $x < 0.2$ экспериментальные значения E_{gmin} (77 К) на поверхности ЭС, обозначенные вертикальными стрелками на рис. 2 (кривая 3), оказались близкими к энергиям пиков фотолюминесценции, измеряемой на „отражение“ с поверхности ЭС при 77 К (кривая 5 на рис. 2). В то же время значения E_{gmin} оказываются меньше расчетных для тройного сплава $InAs_{1-x}Sb_x$ величин. Например, для ЭС с составом на узкозонной поверхности $InAs_{0.46}Sb_{0.54}$ E_{gmin} , определенная из спектров, снятых при 300 К на образце с удаленной подложкой, составляет 90 мэВ (кривая 4 на рис. 2, имеющая параметры: $\frac{\alpha_0}{\gamma} = 0.032 \text{ мэВ}^{-1}$, $\epsilon = 6.9 \text{ мэВ}$, $D_0 = 0.22$), что на 17 мэВ меньше расчетного значения E_g для данного состава и меньше экспериментальных значений, полученных из измерений пропускания наиболее узкозонных слоев $InAsSb$ [6].

Возможной причиной расхождения является растяжение кристаллической решетки в приповерхностной области ЭС под действием остаточных напряжений. Растяжение кристалла с большим, чем

у подложки периодом решетки может быть связано со сложной эпохой напряжений, вызванной нелинейностью изменения периода решетки по слою или большими окружными напряжениями, характерными для сильно изогнутых структур [7]. Масштаб влияния остаточных деформаций виден из сдвига спектра оптической плотности при травливании подложки (кривые 2, 4, рис. 2).

Из расчетных значений градиента ширины запрещенной зоны и спектров оптической плотности при 300 К был определен коэффициент поглощения α_0 при $h\nu = E_{gmin}$: $\alpha_0 = 644 \text{ см}^{-1}$ ($x=0.54$), $\alpha_0 = 1400 \text{ см}^{-1}$ ($x=0.15$), $\alpha_0 = 2000 \text{ см}^{-1}$ ($x=0.12$). Последнее значение взято из данных, приведенных в [8]. Видно закономерное уменьшение α_0 при увеличении x . По нашему мнению, это связано с дефектностью слоев, вызванной нелинейностью изменения периода решетки ЭС в направлении роста. Действительно, как видно из распределения состава (рис. 1) и в соответствии с законом Вегарда, градиент периода решетки возрастает к поверхности ЭС и возрастает при увеличении содержания *InSb* на узкозонной поверхности. При этом возрастает величина $(\text{grada}/a - 1/R)/a$ от $2.4 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2}$ при $x=0.15$ до $2 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$ при $x=0.54$, которая, согласно [3], является мерой дефектности кристаллической решетки.

Таким образом, показано, что выращивание методом ЖФЭ в условиях высокой пластичности подложки градиентных структур *InAs*/*InAsSbP*/*InAs_{1-x}Sb_x* позволяет получать слои с $E_g \approx 90 \text{ мэВ}$, край поглощения которых имеет стандартный для варизонных полупроводников A^3B^5 вид.

Авторы благодарят Т.В. Попову за помощь в измерениях.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Chiang P.K., Bedair S.M. // Appl. Phys. Lett. 1985. V. 46. N 4. P. 383-385.
- [2] Stringfellow G.B., Greene P.E. // J. Electrochem. Soc. Solid State Science. 1971. V. 118. N 5. P. 805-810.
- [3] Матвеев Б.А., Стусь Н.М., Талалакин Г.Н. // Кристаллография. 1988. Т. 32. В. 1. С. 216-221.
- [4] Fukui T., Horikoshi Y. // Jap. J. Appl. Phys. 1980. V. 19. N 3. P. 587-591.
- [5] Морозов Б.В., Болховитянов Ю.Б., Габараев Р.С., Кравченко А.Ф., Юдаев В.И. // ФТП. 1980. Т. 14. В. 8. С. 1486-1491.
- [6] Bether C.G., Lavine B.F., Yen M.Y., Cho A.Y. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 53. N 4. P. 291-292.
- [7] Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теория упругости. М.: Наука, 1987. 248 с.

[8] Зотова Н.В., Есина Н.П., Матвеев Б.А.,
Неуymiна Л.Д., Стусь Н.М., Талала-
жи Т.Н. Авт. свид. № 1056315. Оpubл. БИ № 43, 1983.

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

Поступило в Редакцию
11 апреля 1989 г.
В окончательной редакции
4 января 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 4 26 февраля 1990 г.

07
© 1990

ФОРМИРОВАНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРАСТА НА МИКРОИНТЕРФЕРОМЕТРЕ

В.В. Аристов, А.А. Снигирев,
А.Ю. Суворов

В последнее время в ряде работ были представлены экспери-
ментальные результаты по наблюдению дифракционных спектров
волн, отраженных от периодической монокристаллической структу-
ры, с помощью трехкристалльного дифрактометра [1-2]. Был обна-
ружен достаточно высокий контраст дифракционной картины, а так-
же зарегистрированы так называемые „толщинные осцилляции“
главного пика. С кинематической точки зрения проведена интер-
претация наблюдаемых эффектов. Профилирование поверхности мо-
нокристаллов Si с успехом было использовано для создания Брегг-
Френелевских зонных пластин, на которых наблюдалась фокусиров-
ка и передача изображения периодической металлической сетки в
диапазоне жесткого рентгеновского излучения [3-4]. Вследствие
этого возникла необходимость более тщательного изучения дифрак-
ции на профилированной кристаллической поверхности, особенно в
теоретическом аспекте.

Структура в виде рельефа характерна тем, что в ней сочетают-
ся все типы дифракции. При этом на некоторых ее участках воз-
никают случаи суперпозиции волновых полей, соответствующих раз-
личным схемам дифракции, что должно привести к интерференции.
Таким образом, субмикронная структура, в которой наряду с ди-
фракцией осуществляется интерференционное взаимодействие ди-
фрагировавших волн, может быть названа микроинтерферометром.
При этом интерес представляют два варианта: первый - когда пе-
риод профиля поверхности $D < L_e$, второй - $D > L_e$, где $L_e =$
$$= \frac{\lambda \cos \theta_B}{C \chi_n}$$
 - длина экстинкции,

В данной работе рассматриваются процессы формирования топо-
графического контраста на микроинтерферометре с профилем в виде
прямоугольных выступов и периодом $D > L_e$.