

## ШИРИНА ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ В ТВЕРДОМ РАСТВОРЕ GaSb<sub>1-x</sub>Bi<sub>x</sub>

Гермогенов В. П., Отман Я. П., Чалдышев В. В., Шмарцев Ю. В.

В работе [1] было показано, что методом жидкофазной эпитаксии при 450 °С можно получить слои твердого раствора изовалентного замещения GaSb<sub>1-x</sub>Bi<sub>x</sub> с  $x \leq 0.006$ . В работах [1, 2] сообщалось, что введение висмута в GaSb вызывает смещение спектра фотолюминесценции в длинноволновую сторону, и высказано предположение, что этот эффект обусловлен уменьшением ширины запрещенной зоны. В данной работе с помощью фотолюминесценции (ФЛ) впервые количественно экспериментально исследовано изменение ширины запрещенной зоны указанного соединения в зависимости от содержания висмута.

Концентрация висмута в эпитаксиальных слоях определялась методом рентгеноспектрального микроанализа [1]. Исследования ФЛ проводились при 77 К по методике, описанной в [3].

Типичные спектры ФЛ GaSb и GaSb<sub>1-x</sub>Bi<sub>x</sub> ( $x = 0.005$ ) при 77 К приведены на рис. 1. Видно, что спектр ФЛ твердого раствора качественно подобен спек-

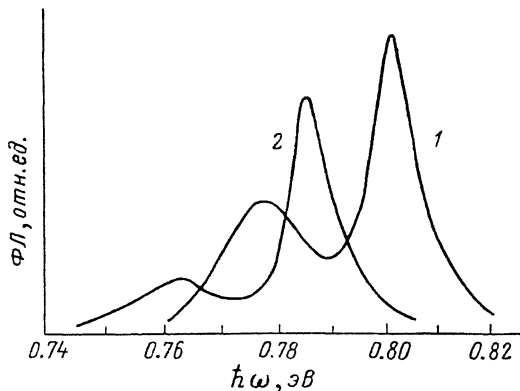


Рис. 1. Спектры фотолюминесценции при 77 К GaSb (1) и GaSb<sub>0.995</sub>Bi<sub>0.005</sub> (2).

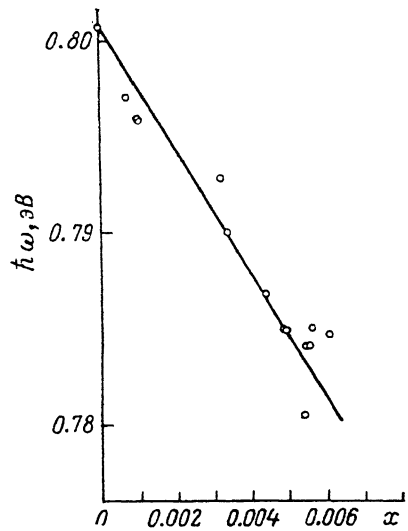


Рис. 2. Зависимость энергетического положения максимума краевой полосы ФЛ при 77 К от состава твердого раствора GaSb<sub>1-x</sub>Bi<sub>x</sub>.

тру ФЛ антимионида галлия, но несколько смещен в длинноволновую сторону. Зависимость энергетического положения краевой полосы ФЛ, обусловленной при 77 К квазимерзонами переходами, от содержания неосновной компоненты (GaBi) в твердом растворе приведена на рис. 2. Видно, что в исследованных образцах твердого раствора GaSb<sub>1-x</sub>Bi<sub>x</sub> сдвиг линии ФЛ относительно исходного положения в антимиониде галлия составляет до 20 мэВ. Указанный сдвиг нельзя связать с действием упругих напряжений, возникающих из-за разницы постоянных решетки эпитаксиального слоя и подложки  $\Delta a$ , поскольку, во-первых,  $\Delta a > 0$  и, следовательно, такие напряжения могут вызвать только увеличение  $E_g$ , а, во-вторых, величина  $\Delta a$  в исследованных структурах невелика [1]. Так как во всех исследованных образцах концентрация свободных дырок при 300 К не превышала  $3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , а полуширина квазимерзональной полосы ФЛ при 77 К не превышала 10 мэВ и не увеличивалась при введении висмута, наблюдаемое изменение энергетического положения линий ФЛ может быть связано только с изменением ширины запрещенной зоны твердого раствора GaSb<sub>1-x</sub>Bi<sub>x</sub>.

Из рис. 2 видно, что изменение  $\hbar\omega$ , а следовательно, и изменение ширины запрещенной зоны в зависимости от концентрации висмута удовлетворительно описываются линейной зависимостью

$$E_g(x) = E_g(0) - bx \quad (1)$$

с коэффициентом  $b=3.2$  эВ. Ширина запрещенной зоны в квазибинарных полупроводниковых твердых растворах обычно хорошо аппроксимируется зависимостью [4]

$$E_g(x) = E_g(0)(1-x) + E_g(1)x - Cx(1-x), \quad (2)$$

где  $E_g(0)$ ,  $E_g(1)$  — ширины запрещенных зон в исходных полупроводниках,  $C$  — параметр, характеризующий отклонение зависимости от линейного закона. Сопоставляя (1) и (2), нетрудно получить, что разность параметра нелинейности твердого раствора  $\text{GaSb}_{1-x}\text{Bi}_x$  и ширины запрещенной зоны гипотетического соединения  $\text{GaBi}$  составляет

$$C - E_g(\text{GaBi}) = b - E_g(\text{GaSb}) = 2.4 \text{ эВ.} \quad (3)$$

Имеющиеся экспериментальные данные не позволяют, к сожалению, определить величины  $C$  и  $E_g(\text{GaBi})$  по отдельности.

Теоретические расчеты зонной структуры гипотетического соединения  $\text{GaBi}$  со структурой цинковой обманки показали [5], что в этом соединении валентная зона и зона проводимости перекрываются и  $E(\Gamma_8^2 - \Gamma_8^2) = -0.12$  эВ. Подставив это значение в (3), получаем  $C \approx 2.3$  эВ, что значительно больше соответствующего теоретического значения  $0.18$  эВ [5], а также значения, которого можно было бы ожидать, исходя из разницы ковалентных радиусов  $\text{Sb}$  и  $\text{Bi}$  [6].

Представляет интерес критическое значение  $x_c$ , соответствующее нулевой ширине запрещенной зоны исследуемого твердого раствора. Экстраполяция зависимости (1) дает  $x_c \approx 0.25$ . Столь большое содержание висмута, по-видимому, невозможно получить при выращивании эпитаксиальных слоев  $\text{GaSb}_{1-x}\text{Bi}_x$  методом жидкофазной эпитаксии.

Таким образом, в работе экспериментально исследована зависимость ширины запрещенной зоны от состава твердого раствора  $\text{GaSb}_{1-x}\text{Bi}_x$ . Показано, что в области  $0 \leq x \leq 0.006$  эта зависимость удовлетворительно описывается линейной формулой (1).

#### Список литературы

- [1] Бирюлин Ю. Ф., Гермогенов В. П., Ивлева О. М., Конников С. Г., Отман Я. И., Третьяков В. В., Чалдышев В. В., Шмарцев Ю. В., Шульбах В. А., Эпиктетова Л. Е. // Письма ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 18. С. 1651—1655.
- [2] Зиновьев В. Г., Моргун А. И., Уфимцев В. Б., Аршавский А. Н. // ФТП. 1986. Т. 20. В. 2. С. 337—339.
- [3] Бирюлин Ю. Ф., Гермогенов В. П., Отман Я. И., Чалдышев В. В., Шмарцев Ю. В., Эпиктетова Л. Е. // ФТП. 1987. Т. 21. В. 6. С. 1118—1124.
- [4] Пихтин А. Н. // ФТП. 1977. Т. 11. В. 3. С. 425—455.
- [5] Гриняев С. Н., Нявро А. В., Чалдышев В. А. // Изв. вузов СССР. Физика. 1985. № 4. С. 3—8.
- [6] Glisson T. H., Hauser J. R., Littlejohn M. A., Williams C. K. // J. Elektron. Mater. 1978. V. 7. N 1. P. 1—15.

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

Получено 28.03.1989  
Принято к печати 5.04.1989