

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ ВИСМУТ – СУРЬМА.

А.А.Абдуллаев, В.Ф.Алексеева, Н.Ф.Заец, Т.М.Лифшиц,
А.Б.Ормонт, Е.Г.Чиркова

В последнее время большое внимание уделяется исследованию узкозонных полупроводников и среди них, в частности, твердых растворов BiSb [1 – 3].

В настоящей работе приводятся результаты измерения оптического поглощения в сплавах $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ с $12 < x < 19$ ат%.

Исследованию подвергались монокристаллические образцы твердых растворов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$, полученные методом зонной перекристаллизации. Первоначально сплавленные исходные материалы – сурьма марки ОСЧ и дополнительно очищенный зонной перекристаллизацией висмут марки ОСЧ – помещались в кварцевой ампуле во вращающуюся печь и выдерживались в течение 40 часов при температуре 400°C . Затем проводилось зонное выравнивание во встречных направлениях со скоростью $2,5$ см/час с уменьшением в процессе роста объема жидкой фазы и выращивание монокристалла со скоростью $0,3$ мм/час. Из полученных слитков скалывались в жидком азоте пластинки толщиной от 70 до 140 мк по плоскости, перпендикулярной тригональной оси.

Монокристалличность образцов проверялась по плоскостям спайности, фигурам травления и лауэграммам. Однородность распределения сурьмы в сплаве контролировалась с помощью рентгеновского сканирующего микроанализатора. Было найдено, что во всех образцах концентрация Sb на противоположных гранях образцов различается на $0,5 - 1,0$ ат%.

Во всех исследованных образцах измерялись температурные зависимости удельного сопротивления и коэффициента Холла в слабом магнитном поле (20 гс). В таблице приведены полученные из этих измерений данные о концентрации Sb , концентрации и подвижности электронов, удельном сопротивлении при гелиевой температуре для трех образцов.

№ № обр.	x, ат%	$n \cdot 10^{-14}, \text{см}^{-3}$	$\rho \cdot 10^2,$ $\text{ом} \cdot \text{см}$	$\mu \cdot 10^{-5}$ $\text{см}^2 \cdot \text{в}^{-1} \cdot \text{сек}^{-1}$	$E_g^{\text{онм}},$ эВ	n	ε
1	12,9	6	2	10	16,70	18	324
2	13,6	6	2	10	17,70	20	400
3	18,5	8	2	7,5	18,74	21	441

Для исследования оптического пропускания образцы помещались в криостат, снабженный световодом для подвода излучения от длинноволнового решеточного монохроматора. Конструкция медной камеры и ее сочленения с приемником излучения (им было фотосопротивление из германия, легированного индием) обеспечивали изменение температуры в пределах от 4,2 до 100°K без изменения температуры приемника и стабилизацию температуры образцов с точностью 0,2 – 0,5°K.

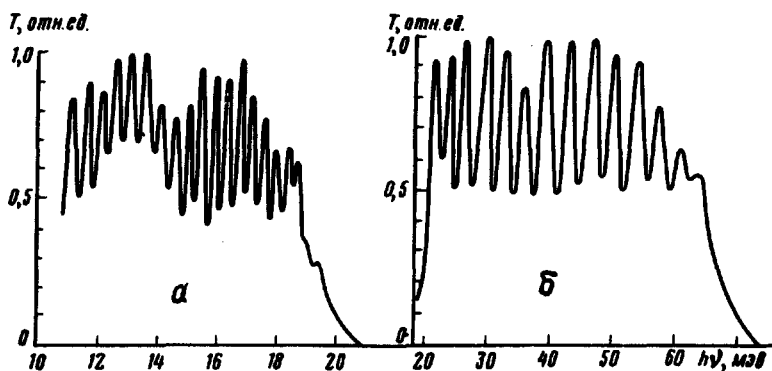


Рис. 1. Спектральная зависимость пропускания при $T = 4,2^\circ\text{K}$:
а – $\text{Bi}_{18,5}\text{Sb}_{81,5}$; б – Bi

На рис. 1 приведен типичный спектр пропускания пластинки BiSb . Для сравнения на этом же рисунке приведен спектр пропускания чистого висмута, взятый нами из работы [4]. Сходство обоих спектров, относящихся, естественно, к различным спектральным областям, очевидно.

Из интерференционной картины мы определили величину показателя преломления и диэлектрической проницаемости (в пренебрежении малым вкладом свободных носителей). Последняя оказалась несколько различной в образцах с разной $E_g^{\text{онм}}$ и примерно в 4 раза большей, чем в чистом Bi (см. таблицу).

С повышением температуры образцов край пропускания смещается в сторону меньших энергий фотонов, интерференционная картина сглаживается и при $T > 40^\circ\text{K}$ исчезает. Экспериментально было установлено, что при $T = 4,2^\circ\text{K}$ поглощение в образцах за краем фундаментальной полосы очень мало. Исходя из этого, мы приняли коэффициент поглощения в максимуме пропускания равным нулю и относительно этой точки измеряли спектральный и температурный ход коэффициента поглощения. На рис. 2 приведены кривые $K = f(h\nu)$ для образца №3, из-

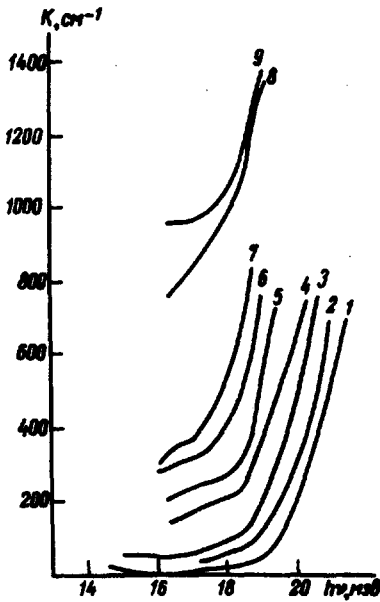


Рис. 2. Спектральная зависимость коэффициента поглощения образца $\text{Bi}_{18,5}\text{Sb}_{81,5}$ толщиной 70 мкм при разных температурах: 1 - 4,2°K; 2 - 7; 3 - 29; 4 - 39; 5 - 42; 6 - 48; 7 - 52; 8 - 77; 9 - 100°K

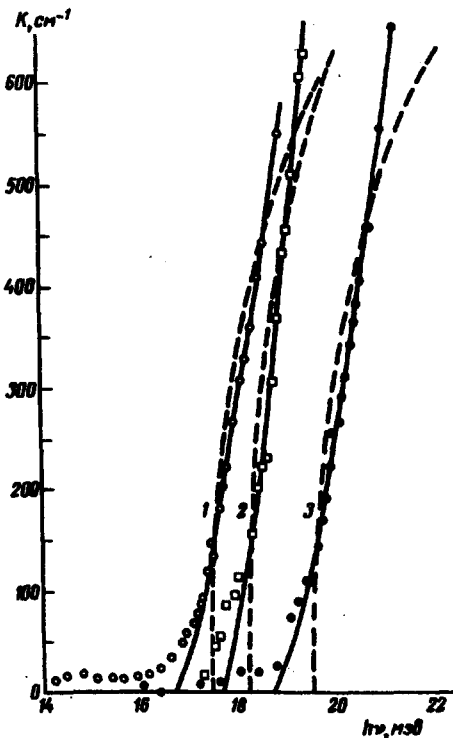


Рис. 3. Спектральная зависимость коэффициента поглощения образцов $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$: 1 - $x = 12,9$ ат.%; 2 - $x = 13,6$; 3 - $x = 18,5$ (Точки - экспериментальные значения, сплошные кривые - теоретический расчет по формуле $K h\nu = A(h\nu - E_g^{onm})^{3/2}$ (A и E_g^{onm} определены из условия наилучшего совпадения кривой с экспериментальными значениями K для $K \geq 150 \text{ см}^{-1}$), пунктирные кривые - расчет по формуле $K h\nu = A(h\nu - E_g^{onm})^{1/2}$).

меренные при различных температурах. Хорошо виден сдвиг края поглощения с температурой в область больших длин волн. Скорость смещения края на уровне $K = 600 \text{ см}^{-1}$ составляет $0,05 \text{ мэв}/^\circ\text{K}$ при $4,2 < T < 30^\circ\text{K}$ и $0,1 \text{ мэв}/^\circ\text{K}$ при $30 < T < 55^\circ\text{K}$. С повышением тем-

пературы заметно возрастает поглощение в длинноволновом "хвосте" вблизи края фундаментальной полосы. Это поглощение нельзя приписывать свободным носителям, так как с ростом частоты оно не падает, а растет. По-видимому, вклад в поглощение в этой области вносят переходы с участием фононов и переходы типа зона-примесь.

На рис. 3, на котором представлены краевые участки кривых поглощения, видно, что эти кривые, начиная с $K = 150 \text{ см}^{-1}$, очень точно аппроксимируются законом $K h \nu = A(h \nu - E_g^{onm})^{3/2}$, в то время, как наблюдаемые нами переходы должны происходить, согласно существующим представлениям [5], между зонами L_s и L_o с разной симметрией и, следовательно, должны быть разрешенными (для последних, как известно, форма края поглощения описывается законом $K h \nu = A(h \nu - E_g^{onm})^{1/2}$). Край фундаментального поглощения при прямых переходах описывается законом $K h \nu = (h \nu - E_g^{onm})^{3/2}$ в случае, если ширина запрещенной зоны различна в разных точках полупроводника. Расчет показывает [6], что имеющегося в наших образцах изменения концентрации Sb по толщине $\sim 1 \text{ ат.}\%$ достаточно, чтобы объяснить наблюдаемую форму края. По-видимому, такая ситуация характерна для полупроводниковых твердых растворов из-за фактически всегда имеющей место неоднородности их состава. В частности, измеренный нами край фундаментального поглощения в эпитаксиальных пленках $\text{InP}_x\text{As}_{1-x}$ также имеет вид $K \sim (h \nu - E_g)^{3/2}$.

Авторы благодарны Ш.М.Когану, С.Н.Артеменко, А.Я.Шульману за полезные дискуссии.

Институт радиотехники и электроники
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
6 февраля 1973 г.

Литература

- [1] Н.Б.Брандт, Е.А.Свистова, Г.Д.Яковлев. ЖЭТФ, 61, 3, 1078, 1971.
- [2] В.Н.Грабов, Г.А.Иванов, В.Л.Налетов, В.С.Понарядов, Т.А.Яковлева, ФТТ, 11, 12, 3653, 1969.
- [3] H.J.Goldsmid. Phys. St. Sol., A1, 1, 7, 1970.
- [4] W.S.Boyle, A.D.Brailsford. Phys. Rev. 120, 6, 1943, 1960.
- [5] E.J.Tichovolsky. Sol. St. Com., 7, 13, 927, 1969.
- [6] С.Н.Артеменко, А.Я.Шульман. ФТТ (в печати)