

ФОТОПРОВОДИМОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СЛОЕВ $Pb_{1-x}Sn_xSe$
И $Pb_{1-x}Sn_xTe$, ЛЕГИРОВАННЫХ ЙОДОМ

А. П. Шотов, О. И. Даварашвили, А. В. Бабушкин

УДК 535.232.6:621.315.59

Исследовались фотоэлектрические свойства полупроводников $Pb_{1-x}Sn_xSe(Te)$ с примесью йода, полученных в виде пленок в процессе жидкостной эпитаксии. Выявлены особенности поведения йода как легирующей донорной примеси. На поликристаллических пленках $Pb_{1-x}Sn_xSe$ достигнуты высокие значения фоточувствительности в области 8-9 мкм.

Полупроводники с узкой запрещенной зоной $Pb_{1-x}Sn_xSe(Te)$ позволяют получать значительную фоточувствительность в области спектра > 6 мкм. Однако реализация высокой чувствительности ограничивается малыми временами жизни с большими концентрациями носителей заряда, получающимися в результате отклонения состава от стехиометрического.

На кристаллах $Pb_{1-x}Sn_xTe$, выращенных по методу Бриджмена /1/ и подвергнутых длительному изометрическому отжигу, удалось снизить концентрацию носителей до значений $10^{15} + 10^{16}$ см⁻³. Однако, как показали измерения фотопроводимости, время жизни при 77°К было $\leq 10^{-8}$ сек.

Большие времена жизни ($\sim 10^{-6}$ сек) были получены на тонких слоях $Pb_{1-x}Sn_xTe$ /2,3/ и $Pb_{1-x}Sn_xSe$ /4/, изготовленных вакуумным напылением на изолирующие подложки и имеющих концентрацию носителей после отжига $\sim 10^{17}$ см⁻³. Как правило, более высокие времена получались на пленках, имеющих разориентацию относительно подложек /2/ или подвергнутых отжигу в присутствии кислорода /3/.

Наибольшие времена жизни в монокристаллах $Pb_{1-x}Sn_xSe(Te)$ с шириной запрещенной зоны $E_g \sim 0,1$ эв, ограниченные излучательной рекомбинацией, согласно расчетам по принципу детального равновесия и измерениям /5/ не превышают $\sim 10^{-6}$ сек.

Понижение концентрации носителей в этих материалах при высоком времени жизни может быть обеспечено путем легирования надлежкими примесями. В настоящей работе приводятся результаты по легированию $Pb_{1-x}Sn_xSe(Te)$ примесью йода и измерениям фотопроводимости.

Легирование проводилось в процессе выращивания слоев методом жидкостной эпитаксии в открытой системе в потоке очищенного водорода. В качестве подложки использовались кристаллы $Pb_{1-x}Sn_xSe(Te)$, выращенные кристаллизацией в паровой фазе /6/, либо изолирующие пластинки BaF_2 (ориентация [111]). Йод вводился в расплав в виде PbI_2 . Температура кристаллизации была $600^{\circ}C$ для $Pb_{1-x}Sn_xTe$ и $700^{\circ}C$ для $Pb_{1-x}Sn_xSe$. Толщина выращенных слоев составляла 10 - 20 мкм.

Типичные результаты по измерению концентрации носителей в зависимости от содержания йода в расплаве приводятся в табл. I на примере слоев $Pb_{0,95}Sn_{0,05}Se$, выращенных на подложке BaF_2 .

Таблица I

№ образца	Расплав — раствор		Эпитаксиальные слои	
	Атомная доля J	Концентрация J, ат/см ³	Тип проводим. при 77°K	Концентр. носит. при 77°K в см ³
1	из пара	—	n	$7,5 \cdot 10^{16}$
2	0,000066	$3,8 \cdot 10^{18}$	n	$7,3 \cdot 10^{17}$
3	0,000102	$5,4 \cdot 10^{18}$	n	$1,2 \cdot 10^{18}$
4	0,000230	$1,3 \cdot 10^{19}$	n	$3 \cdot 10^{18}$

Отличительной особенностью йода как легирующей примеси, по сравнению с примесью индия /7/, является более высокий коэффициент распределения между твердой и жидкой фазами, а также его быстрое испарение. Эффективный коэффициент распределения при расходе водорода 120-200 см³/мин получается равным ~0,5.

Уменьшение концентрации носителей в слое достигалось путем введения йода в расплав-расплав через паровую фазу. При этом источник йода и расплав размещались раздельно.

Йод в $Pb_{1-x}Sn_xSe(Te)$ ведет себя как донорная примесь. Это

объясняется замещением атомов халькогена в кристаллической решетке атомами йода. Подобное поведение йода наблюдалось также в кристаллах PbTe /8/. Высокий коэффициент распределения йода определяется составом раствора-расплава. При малых концентрациях теллура или селена их активность в растворе мала, поэтому они интенсивно замещаются атомами йода.

Для измерений фотопроводимости использовались пленки на подложке BaF_2 в виде тонких полосок шириной от 0,5 до 1 мм с чувствительной площадью $A = (5 \pm 10) \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$, ограниченной индиевыми контактами. Измерения чувствительности проводились при 80°K по излучению черного тела с температурой 500°K на частоте модуляции 600 Гц. Спектр фотопроводимости снимался на спектрометре ИКС-21.

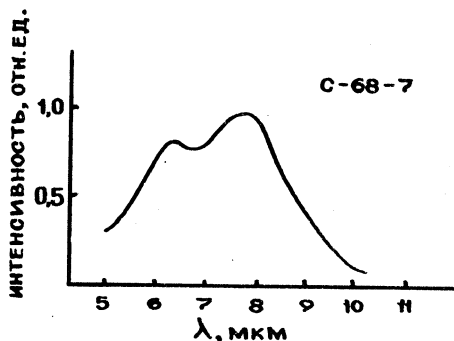
Таблица 2

№ обр.	Хар-ка пленки	$A, \text{ см}^2$	$R, \text{ см}$	$S_v, \text{ в/вт}$
С 61-1	монокрист.	$5 \cdot 10^{-3}$	32	0,55
С 68-7	поликрист.	$1,8 \cdot 10^{-3}$	37	82
С 68-4	поликрист.	$10 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^5$	1600

В табл. 2 даны типичные значения фоточувствительности различного типа пленок $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$ ($x \approx 0,5$), измеренные непосредственно после их изготовления. Максимум спектральной чувствительности находился в диапазоне 8-9 мкм (рис.1).

Монокристаллические пленки $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$, а также $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ обычно имели низкие значения чувствительности. Весьма высокие значения чувствительности $> 10^3 \text{ в/вт}$ были получены на поликристаллических пленках $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$, легированных йодом и имеющих аномально высокие сопротивления $R = 10^5 + 10^6 \text{ ом}$. Пленки такого типа получаются при введении йода в расплав через газовую фазу. Получение аномально высоких сопротивлений при легировании может быть связано с образованием потенциальных барьеров (типа p-n переходов) на границах кристаллов. При этом возможно также образование центров захвата, увеличивающих время жизни

носителей, как это получалось на поликристаллических пленках $Pb_{1-x}Sn_xTe$ в атмосфере кислорода /3/. Спектр фотопроводимости поликристаллических пленок $Pb_{1-x}Sn_xSe$ с максимумом чувствительности в области 8-9 мкм (рис.1) имеет также второй пик в об-



Р и с.1. Спектральная зависимость фотосовета $Pb_{0,95}Sn_{0,05}Se$,

ласти около 6,5 мкм. Появление второго пика указывает на присутствие фазы типа $PbSe$ в поликристаллической пленке. В дальнейшем представляет интерес изучение фазового состава и временной стабильности поликристаллических пленок.

Поступила в редакцию
28 ноября 1975 г.

Л и т е р а т у р а

1. I. Melngailis, T. C. Harman. Appl. Phys. Lett., 13, 180 (1968).
2. T. F. Tao, C. C. Wang. J. Nonmetals, 2, 15 (1973).
3. C. Corsi. J. Appl. Phys., 45, 3467 (1974).
4. D. K. Hohnke, S. W. Kaizer. J. Appl. Phys., 45, 892 (1974).
5. Е. А. Афанасьева, Н. Ибрагимов, А. П. Шотов. ФТП, 7, 1133 (1973).
6. А. П. Шотов, И. В. Кучеренко, Ю. Н. Королев, Е. Г. Чижевский. ФТП, 6, 1508 (1972).
7. А. П. Шотов, О. И. Даварашвили, Е. Г. Чижевский. Краткие сообщения по физике ФИАН № 4, 14 (1976).
8. Т. Л. Ковальчик, Ю. П. Маслаговец. ЖТФ, 1, 2337 (1956).