

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСИ СЕРЕБРА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ТВЕРДОГО РАСТВОРА ТЕЛЛУРИДА СВИНЦА-ОЛОВА

Ю. И. Горина, Г. А. Каложная, К. В. Киселева,
Б. С. Красулина, В. М. Сальман, А. Г. Турьянский,
Буй-Тхи-Ньн^{*})

УДК 621.382

Исследовано влияние примеси Ag в интервале концентраций $2 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ на электрические и структурные характеристики $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}$. Обнаружен нетривиальный механизм воздействия легирующей примеси Ag на электрические свойства этого материала, при котором каждый атом Ag вызывает образование по крайней мере ста электрически активных вакансий.

Настоящая работа является продолжением /1/ и имеет своей целью исследование влияния примеси Ag на электрические и структурные характеристики твердого раствора $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}$. Отметим, что в литературе отсутствуют данные по этому вопросу.

Монокристаллы $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}$ нелегированные и легированные серебром, были получены из газовой фазы при температуре роста 700–800 °С. Введение Ag или AgTe проводилось в процессе кристаллизации. Количество серебра, вводимшегося в исходную шихту, указано в табл. I. Размеры выращенных монокристаллов были аналогичны размерам полученных в тех же условиях кристаллов PbTe /1/. Для повышения надежности результатов все процессы выращивания были продублированы.

В полученных монокристаллах концентрация Ag определялась

^{*}) Физический институт, г. Ханой, Вьетнам.

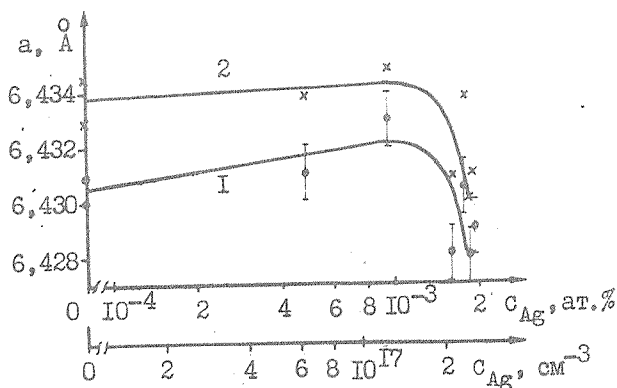
Таблица I

Некоторые параметры $Pb_0,8Sn_0,2Te$ с серебром при 77 К и при 300 К.

Содержание Ag, ат. %	тип проводимости		Удельное сопротивление Ом·см		Концентрация носителей, см ⁻³		Подвижность носителей, см ² /В·с	
	300 К	77 К	300 К	77 К	300 К	77 К	300 К	77 К
0	P	P	$4,53 \cdot 10^{-4}$	$1,29 \cdot 10^{-4}$	$3,65 \cdot 10^{19}$	$1,98 \cdot 10^{19}$	$3,7 \cdot 10^2$	$3,44 \cdot 10^3$
0,8	$4,9 \cdot 10^{-4}$	P	$8,0 \cdot 10^{-4}$	$3,50 \cdot 10^{-4}$	$3,07 \cdot 10^{19}$	$4,80 \cdot 10^{19}$	$2,5 \cdot 10^2$	$3,7 \cdot 10^2$
0,1	$7,0 \cdot 10^{-4}$	P	$5,57 \cdot 10^{-4}$	$1,76 \cdot 10^{-4}$	$1,61 \cdot 10^{19}$	$3,72 \cdot 10^{19}$	$6,94 \cdot 10^2$	$9,54 \cdot 10^2$
0,1	$9,5 \cdot 10^{-4}$	P	$1,38 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$2,08 \cdot 10^{19}$	$1,60 \cdot 10^{19}$	$2,10 \cdot 10^2$	$2,40 \cdot 10^3$
1	$1,6 \cdot 10^{-3}$	P	$6,13 \cdot 10^{-4}$	$6,57 \cdot 10^{-4}$	$2,14 \cdot 10^{19}$	$7,81 \cdot 10^{19}$	$4,76 \cdot 10^2$	$1,21 \cdot 10^2$
0,6	$1,7 \cdot 10^{-3}$	P	$7,88 \cdot 10^{-4}$	$2,87 \cdot 10^{-4}$	$2,55 \cdot 10^{19}$	$5,95 \cdot 10^{19}$	$3,1 \cdot 10^2$	$3,65 \cdot 10^2$
0,6	$1,8 \cdot 10^{-3}$	P	$8,2 \cdot 10^{-4}$	$3,37 \cdot 10^{-4}$	$4,46 \cdot 10^{19}$	$4,46 \cdot 10^{19}$	$1,7 \cdot 10^2$	$4,15 \cdot 10^2$
3	$1,8 \cdot 10^{-3}$	P	$9,70 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$2,50 \cdot 10^{19}$	$6,46 \cdot 10^{19}$	$2,50 \cdot 10^2$	$2,60 \cdot 10^2$
1	$1,9 \cdot 10^{-3}$	P	$7,59 \cdot 10^{-4}$	$3,86 \cdot 10^{-4}$	$5,78 \cdot 10^{19}$	$6,72 \cdot 10^{19}$	$1,42 \cdot 10^2$	$2,4 \cdot 10^2$

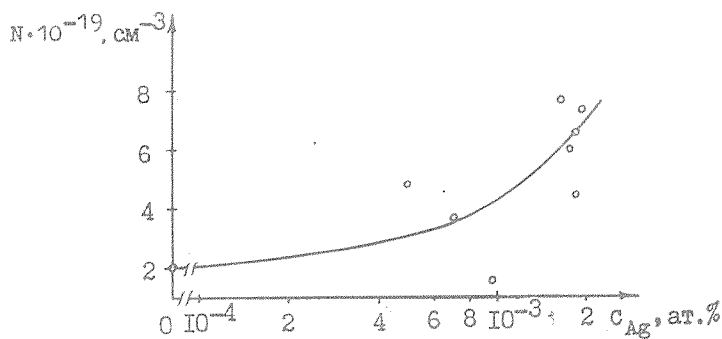
*) Материал p-типа содержит области n-типа проводимости.

с помощью методов, описанных в /1/. Результаты количественного спектрального анализа, приведены в табл. I. Из этих данных следует, что интервал концентрации Ag в полученных кристаллах составляет $2,2 \cdot 10^{16} - 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, причем верхнее значение соответствует пределу растворимости Ag при выбранном способе получения легированных кристаллов. Снижение на несколько порядков уровня концентрации серебра в монокристаллах $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}$ по сравнению с его содержанием в исходной шихте объясняется, как и в случае PbTe , малой упругостью паров Ag в газовой фазе во время роста кристалла.

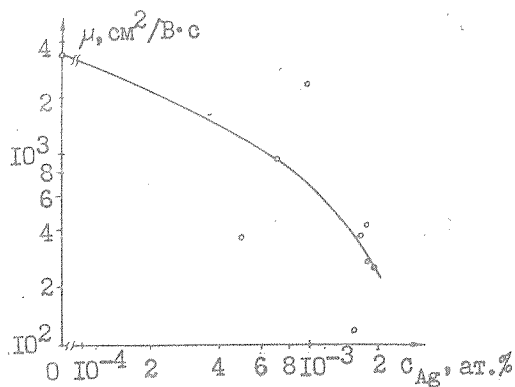


Р и с. I. Зависимости параметра кристаллической решетки a от содержания Ag в кристаллах $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}$ определенные по рефлексу (600) (кривая I) и путем экстраполяции (кривая 2)

Параметр a кубической кристаллической решетки нелегированных и легированных серебром кристаллов $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}$ измерялся на поверхностях сколов (100) по стандартной дифрактометрической методике на установке ДРОН-I с точностью $\pm 0,001 \text{ Å}$. На рис. I приведены зависимости параметра a решетки $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}$ от концентрации Ag, одна из которых рассчитана по рефлексу (600), а другая получена путем экстраполяции /1/ (кривые I и 2 соответственно).



Р и с. 2. Зависимости холловской концентрации носителей от содержания Ag в кристаллах $Pb_{0,8}Sn_{0,2}Te$ при 77 К



Р и с. 3. Зависимости подвижности носителей заряда от содержания Ag в кристаллах $Pb_{0,8}Sn_{0,2}Te$ при 77 К

Электрические свойства кристаллов $Pb_{0,8}Sn_{0,2}Te$ исследовались методом Холла при 300 и 77 К. Зависимости рассчитанных величин концентрации носителей и подвижности при 77 К от содержания серебра представлены на рис. 2 и 3 соответственно.

В отличие от PbTe /1/, легирование серебром кристаллов $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}$ приводит к устойчивому p-типу проводимости во всем исследованном интервале концентраций примеси (см. табл. I). С увеличением содержания Ag концентрация дырок возрастает от $2 \cdot 10^{19}$ до $8 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, а подвижность падает от $3 \cdot 10^3$ до $10^2 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ (см. рис. 2 и 3).

В противоположность PbTe /1/, легирование серебром кристаллов $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}$ на уровне примеси $\geq 10^{17} \text{ см}^{-3}$ приводит к значительному уменьшению параметра кристаллической решетки (см. рис. I). Этот результат, с учетом обнаруженного при тех же концентрациях Ag увеличения концентрации дырок и уменьшения подвижности, свидетельствует о лавинном образовании вакансий на металлической подрешетке.

Ранее на примерах GaTe /2/ и PbTe /3/ было показано, что в соединениях $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{VI}}$ и $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{VI}}$ концентрация термодинамически равновесных вакансий может на два порядка превышать концентрацию носителей заряда - дырок. Это расхождение объясняется образованием электрически нейтральных вакансионных комплексов. В рамках такой кристаллохимической модели атомы Ag должны предотвращать образование нейтральных вакансионных комплексов в процессе роста кристалла. $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}$, в результате чего увеличивается концентрация единичных вакансий на подрешетке металла, а следовательно и концентрация дырок.

Сопоставление уровней концентрации легирующей примеси и концентрации носителей показывает, что каждый атом Ag при концентрации $\geq 10^{17} \text{ см}^{-3}$ вызывает образование, по крайней мере, 100 электрически активных вакансий. Из этого следует, что в случае $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}$ "коэффициент усиления" концентрации дырок серебром на порядок выше, чем в PbTe /1/. Большое воздействие Ag на вакансионную систему металлической подрешетки $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}$ является следствием большей на порядок ширины области гомогенности со стороны теллура этого материала по сравнению с PbTe (при температуре роста $700-800 \text{ }^\circ\text{C}$).

Таким образом, в настоящей работе и работе /1/ впервые обнаружен нетривиальный механизм воздействия легирующей приме-

си серебра на электрические свойства узкозонных полупроводников PbTe и $\text{Pb}_{0,8}\text{Sn}_{0,2}\text{Te}$.

Поступила в редакцию
3 марта 1981 г.

Л и т е р а т у р а

1. О. В. Александров и др., Краткие сообщения по физике ФИАН № 7, 35 (1981).
2. Ю. И. Горина и др., Краткие сообщения по физике ФИАН № 11, 24 (1975).
3. С. А. Медведев и др., изв. АН СССР, сер., Неорганические материалы, 9, № 3, 356 (1973).