

ВЛИЯНИЕ БАРИЧЕСКОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ ЗОННОЙ СТРУКТУРЫ НА СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ PbSnTe:In

Андреанов Г.О.,¹ Парфеньев Р.В.¹, Шамшур Д.В.¹, Черняев А.В.¹, Михайлин Н.Ю.¹, Немов С.А.²

¹Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия,

²Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: A.Chernyaev@mail.ioffe.ru

Введение индия в твердые растворы теллуридов свинца и олова сопровождается появлением ряда отличительных свойств $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{1-x}\text{In}_x\text{Te}$ (PST:In), таких как стабилизация уровня Ферми зонных носителей в пределах уровня квазилокальных примесных состояний In [1], резонансное рассеяние носителей заряда с энергией Ферми и сверхпроводимость с критической температурой $T_c \leq 4.2$ К [2]. Ширина запрещенной зоны E_g соединений PST линейно меняется с составом от прямого спектра в PbTe до обратного расположения термов в SnTe ($z = 0$), проходя через точку инверсии ($E_g = 0$) при $z = 0.65$.

Валентная зона PST имеет сложную структуру с дополнительным экстремумом в Σ -точке зоны Бриллюэна (зона тяжелых дырок) с высокой плотностью состояний (Σ -ВЗ). В соединениях PST:In с $z < 0.65$ при концентрации N_{In} , превышающей концентрацию электрически активных собственных дефектов, уровень Ферми (E_F) фиксируется энергетическим положением уровня E_{In} на фоне сплошного спектра валентных зон L-ВЗ (и Σ -ВЗ при росте концентрации носителей заряда). При вхождении E_{In} в Σ -ВЗ возникает резонансное рассеяние зонных дырок на квазилокальных состояниях In, приводящее к размытию уровня E_{In} в полосу примесных состояний и образованию гибридных зонно-примесных состояний. При расположении E_F в пределах пика плотности состояний примесной полосы In наблюдается порядковое увеличение параметров сверхпроводящего (СП) перехода [3,4] по сравнению с нелегированными соединениями SnTe и $\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z}\text{Te}$ [5]. При относительно высоком содержании Pb $z > 0.65$ и содержании In $x = 0.16$ реализуется диэлектрическое состояние [6].

В данной работе изучаются барические зависимости СП параметров PST:In разного состава, вызванные смещением E_{In} под давлением

относительно краев легкой L-ВЗ и тяжелой Σ -ВЗ, в области составов $z < 0.6$, где ширина запрещенной зоны увеличивается с давлением P [7], а положение $E_{\text{In}}(P)$ внутри L-ВЗ и Σ -ВЗ определяет концентрацию зонных дырок, что также влияет на ширину примесной полосы при изменении интенсивности резонансного рассеяния.

Поликристаллические образцы PST:In с фиксированным уровнем легирования In ($x = 0.05$) разного состава ($z = 0.05, 0.30$ и 0.45) изготавливались по металлокерамической технологии [8]. Всестороннее сжатие (до 12 кбар при $T = 300\text{K}$) создавалось в автономной камере высокого давления из бериллиевой бронзы [9] (низкотемпературный сброс давления составлял $P = 3$ кбар при $T_c = 4.2\text{K}$).

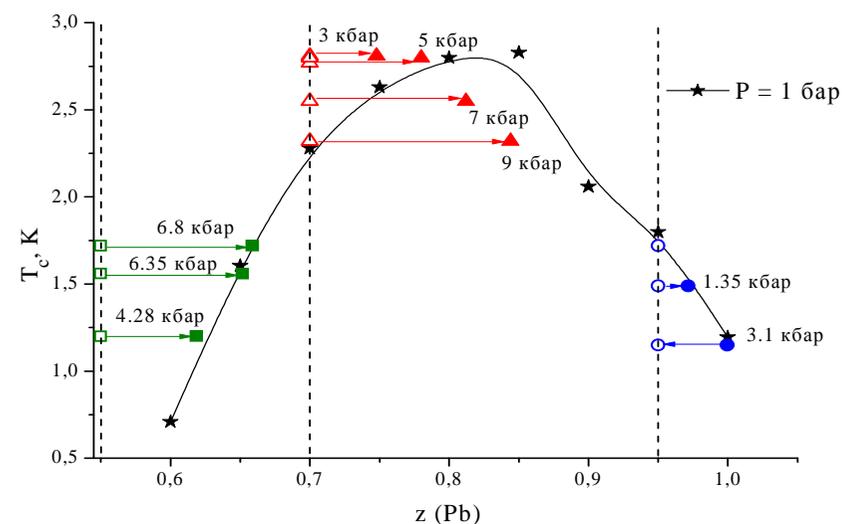


Рис.1. Влияние состава $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.95}\text{In}_{0.05}\text{Te}$ на критическую температуру СП перехода T_c (на уровне $0.5 \rho_N$, где ρ_N – удельное сопротивление материала непосредственно перед СП переходом, $P = 1$ бар, экспериментальные данные аппроксимированы сплошной линией) в сопоставлении с влиянием давления на T_c . Пустые символы соответствуют $T_c(P)$ (указано около соответствующих точек) при $z = 0.05, 0.3$ и 0.45 , заполненные соответствуют тем же данным, смещенным по оси абсцисс на величину $\Delta z^* = -1.6$ ат.%/кбар.

Выбор изученных образцов PST:In связан с колоколообразной зависимостью $T_c(z)$ (рис. 1, экспериментальные данные аппроксимированы сплошной линией), которая отвечает различным энергетическим положениям полосы квазилокальных состояний In относительно краев L-VЗ и Σ -VЗ. Ранее было показано, что при уменьшении содержания свинца z в образцах квазилокальный уровень In выходит из Σ -VЗ тяжелых дырок, что немонотонно влияет на плотность состояний на уровне Ферми и, таким образом, на критическую температуру СП перехода [10], и при дальнейшем увеличении z приводит к низкотемпературному переходу материала из СП в диэлектрическое состояние.

На рис. 1 также представлены экспериментальные данные о влиянии гидростатического сжатия P на T_c в исследованных образцах. Заметим, что если точки, соответствующие T_c для конкретного образца при некотором фиксированном давлении (светлые символы на рис.1), сместить на некоторую величину по z (показано стрелками), то оказывается возможным удовлетворительно описать их зависимостью $T_c(z)$ при $P = 1$ бар. Коэффициент пропорциональности $\Delta z/\Delta P = -1.6$ ат.%/кбар слабо зависит от изменения давления до 10 кбар (область линейного приближения). Этот факт свидетельствует в пользу модели о независимом пропорциональном влиянии состава и давления на энергетический спектр PST:In: изменяя энергетический спектр методом вариации состава на некоторую величину Δz или всесторонним сжатием на соответствующую величину $\Delta P = \Delta z/\Delta z^*$, можно реализовать заданное изменение критической температуры СП перехода путем управления и составом, и давлением.

Таким образом, с изменением P относительное энергетическое положение квазилокального уровня In в исследованном диапазоне давлений изменяется в первом приближении также, как и при уменьшении количества Pb в твердом растворе при нормальном давлении. Это объясняет наблюдаемый рост критической температуры с давлением в образце с $z=0.45$, в котором уровень In входит в зону тяжелых дырок с давлением. Для образцов $z=0.05, 0.3$, для которых квазилокальные состояния In изначально (при $P=1$ бар) перекрывались с состояниями Σ -VЗ, "заглубление" уровня In в зону приводит к увеличению степени заполнения полосы In электронами и уменьшению T_c . Однонаправленное влияние давления на взаимное расположение энергий квазилокальных состояний In и зоны тяжелых дырок для образцов $z \leq 0.45$ в интервале давлений вплоть до 10 кбар подтверждается монотонным увеличением

проводимости с давлением в рассматриваемой области составов и давлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кайданов В.И., Равич Ю.И., УФН т.145, N 1, с.51 (1985).
2. Немов С.А., Равич Ю.И., УФН т.168, N 8, 817 (1998).
3. Бушмарина Г.С., Драбкин И.А., Компанеец В.В., Парфеньев Р.В., Шамшур Д.В., Шахов М.А., ФТТ т.28, N 4, с.1094 (1986).
4. Березин А.В., Немов С.А., Парфеньев Р.В., Шамшур Д.В., ФТТ т.35, N1, с.53 (1993).
5. Hein R.A. and Meijr. P.H.E. Phys. Rev. 1969, v.179, N2, p.497-511.
6. Козуб В.И., Парфеньев Р.В., Шамшур Д.В., Шакура Д.В., Черняев А.В., Немов С.А., Письма в ЖЭТФ т.84, N 1, с.37 (2006)
7. Акимов Б.А., Рябова Л.И., Яценко О.Б., Чудинов С.М., ФТП т.13, N 7, с.752 (1979). Акимов Б.А., Зломанов В.П., Рябова Л.И., Чудинов С.М., Яценко О.Б., ФТП т.13, N 7, с.1293 (1979).
8. Bushmarina G.S., Drabkin I.A., Mashovets D.V., Parfeniev R.V., Shamshur D.V., Shachov M.A., Physica B (Amsterdam) v.169, p.687 (1991).
9. Шубников М.А., Приборы и техника эксперимента т.5, с.178 (1981).
10. Парфеньев Р.В., Шамшур Д.В., Немов С.А., ФТТ т.43, N 10, с.1772 (2001).