

# Низкотемпературная проводимость и эффект Холла в полупроводниковых твердых растворах $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$

© Д.В. Шамшур<sup>\*,\*\*\*</sup>, С.А. Немов<sup>\*\*</sup>, Р.В. Парфеньев<sup>\*</sup>, М.С. Конончук<sup>\*,\*\*\*</sup>, V.I. Nizhankovskii<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, 194021 Санкт-Петербург, Россия

<sup>\*\*</sup> Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 195251 Санкт-Петербург, Россия

<sup>\*\*\*</sup> International Laboratory of High Magnetic Fields and Low Temperatures, 53-421 Wroclaw, Poland

E-mail: d.shamshur@mail.ioffe.ru

(Поступила в Редакцию 17 марта 2008 г.)

В сильнолегированных поликристаллических образцах полупроводниковых твердых растворов  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  при изменении содержания свинца  $0 \leq z \leq 0.9$  проведено исследование температурных зависимостей сопротивления и эффекта Холла. При  $x \leq 0.65$  в материале наблюдается сверхпроводящий переход с критической температурой  $T_c \leq 4.2$  К и магнитным полем  $H_{c2}(0 \text{ К}) \sim 50$  кОе. При увеличении концентрации свинца до  $z \leq 0.9$  при гелиевых температурах обнаружена ярко выраженная тенденция к переходу материала в диэлектрическое состояние. Наблюдаемые зависимости связаны с изменением зонной структуры твердых растворов при вариации состава материала, уровня легирования и положения примесной зоны индия. Прослежена связь между температурными и композиционными зависимостями сопротивления, коэффициента Холла и сверхпроводящими характеристиками  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  и изменением его зонного спектра при замене атомов олова на свинец в металлической подрешетке соединения.

Работа поддержана грантом РФФИ № 07-02-00726, программой президиума РАН, грантом Научной школы и Госконтрактом 02.513.11.3282.

PACS: 71.30.+h, 74.25.Fy, 74.25.Jb

## 1. Введение

Соединения класса  $A^4B^6$  (PbTe, SnTe и др.) являются специфическими узкозонными полупроводниками, кристаллизующимися с большим количеством электрически активных собственных дефектов, поставляющих носители тока в зону проводимости или валентную зону. Отсутствие конечной энергии ионизации собственных дефектов приводит к тому, что в нелегированных кристаллах соединений  $A^4B^6$  не удается достичь диэлектрического состояния. Более того, концентрация носителей тока при  $T \rightarrow 0$  К остается неизменной, порядка  $n, p \sim 10^{18} - 10^{20} \text{ см}^{-3}$  [1]. В связи с этим указанные материалы можно рассматривать как „грязные“ металлы с относительно низкой концентрацией свободных носителей.

При легировании соединений  $A^4B^6$  примесными III группы (In, Tl) в них образуются глубокие примесные состояния, обусловленные короткодействующим потенциалом. В некоторых системах примесные состояния оказываются на фоне разрешенного спектра и не сливаются с ним. Такие примесные состояния являются квазилокальными (резонансными) [2,3]. Экспериментально наблюдаются состояния двух типов.

1) Двухэлектронные примесные центры с отрицательной корреляционной энергией электронов, слабо взаимодействующие с зонным спектром. Наиболее характерный и изученный пример таких систем — PbTe:In, в котором введение примеси индия в количестве несколь-

ких at.% слабо влияет на низкотемпературную подвижность электронов. Причем в диапазоне низких температур ( $T < 20$  К) наблюдаются долговременные (многочасовые при  $T = 4.2$  К) процессы релаксации неравновесных электронов [4,5].

2) Резонансные примесные центры, электроны которых сильно взаимодействуют с зонными (блоховскими) состояниями, при этом резко (на несколько порядков) уменьшается подвижность носителей заряда. Этот эффект объясняется резонансным рассеянием электронов в полосу квазилокальных примесных состояний. Наиболее ярко этот эффект выражен в PbTe:Tl [6]. В ряде таких систем наряду с сильным резонансным рассеянием при температурах ниже гелиевой наблюдается переход в сверхпроводящее (СП) состояние. Наиболее изучены соединения PbTe:Tl [7] и SnTe:In [8], которые имеют относительно высокую для полупроводников критическую температуру перехода в СП-состояние:  $T_c$  порядка 1–2.5 К.

Общей чертой указанных типов примесных состояний является пиннинг уровня Ферми легированных элементами III группы соединений  $A^4B^6$  при содержании введенной примеси, превышающем концентрацию собственных дефектов.

К настоящему моменту отсутствует удовлетворительное теоретическое описание глубоких примесных состояний In и Tl в соединениях  $A^4B^6$  [2–5]. Новые возможности в изучении глубоких примесных состояний в соединениях  $A^4B^6$  открывает исследование их

твердых растворов. В частности, соединения PbTe–SnTe образуют непрерывный ряд твердых растворов, примесь индия в которых растворяется в аномально больших количествах (до 20 at.%). Как отмечалось выше, примесь индия в PbTe создает центры типа I, а в SnTe — типа II. Представляется интересным исследовать переход примесных состояний In из типа I в тип II при изменении соотношения между атомами свинца и олова в катионной подрешетке твердых растворов системы  $\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z}\text{Te}:\text{In}$ .

## 2. Экспериментальные результаты и их обсуждение

В PbTe примесь индия проявляет донорное действие, образуя чрезвычайно узкую ( $\sim 1$  meV или меньше) полосу квазилокальных состояний на фоне зоны проводимости ( $E_{\text{In}} \sim 70$  meV выше дна зоны проводимости [2]). В SnTe:In примесь In проявляет акцепторное действие, создавая широкую ( $\sim 100$  meV) полосу квазилокализованных состояний глубоко в валентной зоне ( $E_{\text{In}} \sim 300$  meV [2] ниже потолка валентной  $L$ -зоны, на фоне тяжелых дырок в  $\Sigma$ - и/или  $\Delta$ -точках зоны Бриллюэна [8,9]). На основе результатов исследования твердых растворов  $\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z}\text{Te}:\text{In}$  с малым ( $N_{\text{In}} \leq 1$  at.%) содержанием индия [2,4,5] была получена схема зонной структуры  $\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z}\text{Te}:\text{In}$ , приведенная на вставке к рис. 1. В твердых растворах  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{1-x}\text{In}_x\text{Te}$  изменение зонной структуры описывается инверсной моделью; в области составов вблизи  $z = 0.65$  реализуется бесщелевое состояние  $E_g = 0$  (при  $T \rightarrow 0$  K). Смещение уровня In на вставке к рис. 1 соответствует смещению химического потенциала, поскольку уровень Ферми  $E_F$  при легировании In фиксируется (пиннингуются) пиком плотности примесных состояний. Зависимость  $E_{\text{In}}$  от состава близка к линейной, при этом энергия пиннинга при увеличении содержания олова в твердых растворах смещается из зоны проводимости теллурида свинца глубоко в валентную зону теллурида олова (см. вставку на рис. 1).

В качестве объектов исследования были выбраны твердые растворы  $\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z}\text{Te}:\text{In}$  с содержанием индия  $N_{\text{In}} = 16$  at.%, изучались их гальваномагнитные свойства и характеристики перехода в СП-состояние.

Образцы, состав которых соответствовал химической формуле  $(\text{Sn}_{1-z}\text{Pb}_z)_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  ( $z = 0-0.90$ ), были изготовлены по металлокерамической технологии [2,3]. Синтез проводился сплавлением в вакууме исходных компонентов полупроводниковой чистоты с последующей закалкой при комнатной температуре. После измельчения слитков до размера зерна  $d \sim 0.1$  mm проводилось горячее прессование ( $P = 2000$  kg/cm<sup>2</sup>,  $T = 400^\circ\text{C}$ ). Затем образцы отжигались в вакууме при температуре  $600^\circ\text{C}$  в течение 200 h. Рентгеноспектральный микроанализ не обнаружил наличия следов второй фазы в образцах  $(\text{Sn}_{1-z}\text{Pb}_z)_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$ , отобранных для исследования.

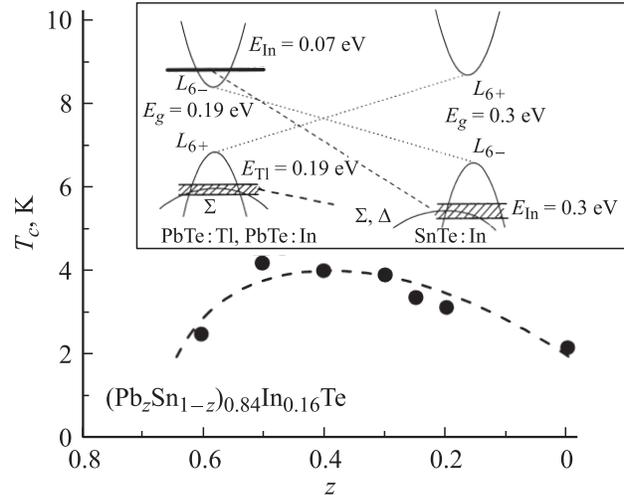


Рис. 1. Зависимость температуры сверхпроводящего перехода  $T_c$  в образцах  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  от содержания свинца  $z$  в твердом растворе. На вставке — схема изменения зонной структуры и энергетического положения примесных состояний In [2,4,13] в твердом растворе  $\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z}\text{Te}:\text{In}$ . Приведены также данные о положении уровня таллия в PbTe:TI и  $\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z}\text{Te}:\text{TI}$  согласно [3].

Эксперимент проводился в диапазоне температур  $T = 0.4-300$  K в магнитных полях  $H$  до 15 T (СП-соленоид). Критические параметры СП-перехода  $T_c$  и  $H_{c2}(T)$  определялись из температурных и магнитолевых зависимостей удельного сопротивления  $\rho(T)$  и  $\rho(H)$  из условия  $\rho = 0.5\rho_N$  ( $\rho_N$  — сопротивление в нормальном состоянии при  $T \leq 4.2$  K).

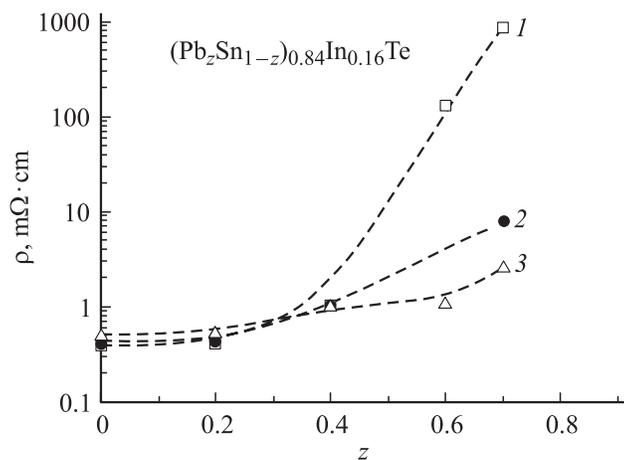
Концентрация носителей определялась из азотного значения коэффициента Холла в предположении, что Холл-фактор равен единице, по формуле

$$\rho(n) = (eR)^{-1}, \quad (1)$$

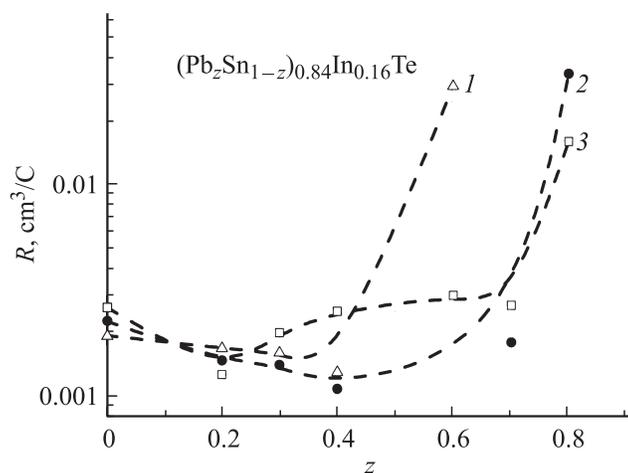
где  $R$  — коэффициент Холла при  $T = 77$  K,  $e$  — модуль заряда электрона.

Отметим, что низкотемпературные исследования коэффициента Холла в  $\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z}\text{Te}:\text{In}$  с большим содержанием In ( $N_{\text{In}} > 1$  at.%) ранее не проводились.

Рассмотрим полученные экспериментальные данные, которые приведены на рис. 1–4. Как видно из рис. 1, критическая температура перехода в СП-состояние  $T_c$  в соединениях  $(\text{Sn}_{1-z}\text{Pb}_z)_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  имеет вид кривой с максимумом ( $T_c \approx 4.2$  K) вблизи 50% замещения в металлической подрешетке твердого раствора. Подобный характер зависимости  $T_c(z)$  обусловлен взаимным смещением примесной полосы индия и края дополнительной зоны „тяжелых“ дырок при изменении состава образцов (см. вставку к рис. 1). Полученные данные о температуре СП-перехода  $T_c(z)$  в  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  ( $z < 0.7$ ) хорошо согласуются с результатами [9]. Ранее отмечалось [10,11], что в не легированных индием образцах SnTe и PnSnTe со значительным отклонением от стехиометрического состава в сторону избытка теллура



**Рис. 2.** Зависимость удельного сопротивления  $\rho$  от содержания свинца  $z$  в твердых растворах  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  при различных температурах.  $T$ , К: 1 — 4.2, 2 — 77, 3 — 200.



**Рис. 3.** Зависимости коэффициента Холла  $R$  от содержания свинца  $z$  в твердых растворах  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  при различных температурах.  $T$ , К: 1 — 4.2, 2 — 77, 3 — 200.

СП-переход наблюдался при более низких температурах  $T_c \leq 0.3$  К в образцах с уровнем Ферми, входящим в зону „тяжелых“ дырок (при концентрации дырок  $p > 5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ).

Наблюдаемые в твердых растворах с индием на порядок большие значения  $T_c$  по сравнению с  $T_c$  в нелегированных образцах  $\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z}\text{Te}$  свидетельствуют о важной роли резонансных состояний In в формировании СП-перехода наряду с заполнением тяжелой зоны. Подобная корреляция  $T_c$  с заполнением дырками тяжелой зоны и примесных состояний наблюдалась также в системах  $\text{PnTe}-\text{PbSe}$  и  $\text{PbTe}-\text{PdS}$ , легированных таллием, и  $\text{SnTe}-\text{GeTe}$ , легированных индием [12]. В области составов  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$   $0.7 < z < 0.9$  СП-переход при  $T > 0.4$  К исчезает, сопротивление образцов резко возрастает (рис. 2), и наблюдается переход в диэлектрическое состояние материала, что согласуется с данными [13].

На рис. 3 и в таблице приведены данные о зависимости коэффициента Холла  $R$  от содержания свинца  $z$  в твердых растворах  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  (содержание свинца  $0 \leq z \leq 0.8$ ) при различных температурах. Зависимости  $R(z)$  при разных температурах качественно подобны между собой и имеют вид кривых с минимумом в области составов  $z \sim 0.2-0.4$ . В твердых растворах с большим содержанием свинца (вплоть до  $z \leq 0.8$ ) происходит значительный рост коэффициента Холла, что коррелирует с данными о сопротивлении изученных образцов (рис. 2). Количественные изменения изотерм  $R(z)$  с ростом температуры обусловлены, по-видимому, температурным смещением полосы In относительно краев валентных зон.

Следует отметить, что сложный характер зонной структуры твердых растворов на основе  $\text{SnTe}$  и ее недостаточная изученность, высокие значения холловской концентрации дырок ( $p \geq 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ) затрудняют получение корректных оценок концентрации легких и тяжелых дырок и уровня химпотенциала в исследованных образцах.

Однако, используя аналогии в данных о явлениях переноса в  $\text{SbTe}:\text{In}$  и  $\text{PbTe}:\text{Pb}$  (включая СП-свойства) [3], можно считать, что сильное резонансное рассеяние дырок на примеси In в исследованных твердых растворах, как и резонансное рассеяние дырок в  $\text{PbTe}:\text{Pb}$  [3,6], приводит к выравниванию подвижностей легких и тяжелых носителей тока при низких температурах. Это позволяет использовать формулу (1) для оценки полной концентрации дырок в валентной зоне из данных об эффекте Холла при  $T = 77$  К.

Как следует из приведенных в таблице и на рис. 3 данных, общая тенденция увеличения  $R$  с ростом содержания свинца в  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  вплоть до  $z = 0.9$  свидетельствует о смещении уровня Ферми  $E_F$  (пиннигуемого уровнем индия  $E_{\text{In}}$ ) в сторону запрещенной зоны и характеризуется последующей сменой типа проводимости (знака  $R$ ) при  $z \geq 0.8$  (см. таблицу). Отметим, что  $(\text{Pb}_{0.9}\text{Sn}_{0.1})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  характеризуется электронным типом проводимости при всех исследованных температурах  $T \leq 4.2$  К.  $(\text{Pb}_{0.8}\text{Sn}_{0.2})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  обнаруживает электронный тип проводимости только при  $T = 300$  К, что связано, по-видимому, с температурным смещением положения уровня In относительно дна зоны проводимости. Экстраполяция полученных данных об эффекте Холла и положении полосы In в твердых растворах  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  в область соединения  $\text{Pb}_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  ( $z = 0$ ) согласуется с данными о низкотемпературном сопротивлении  $\text{Pb}_{1-x}\text{In}_x\text{Te}$  ( $x \leq 0.22$ ), полученными ранее [14].

В то же время из данных о концентрационной зависимости  $R(z)$  не следует вывод о линейном смещении положения уровня In из валентной зоны  $\text{SnTe}:\text{In}$  к краю зоны проводимости в  $\text{PbTe}:\text{In}$  через запрещенную зону, что принималось в [2] для малых содержаний In ( $N_{\text{In}} \leq 0.5-1.0 \text{ at.}\%$ ) (см. вставку к рис. 1).

Коэффициент Холла  $R$  при температурах  $T = 4.2, 77, 200, 300$  К и холловская концентрация носителей при  $T = 77$  К в образцах  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  ( $0 \leq z \leq 0.9$ )

| $z$ | $R, \text{cm}^3/\text{C}$ |         |        |        | $R\sigma, \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$<br>(77 К) | $p(n), \text{cm}^{-3}$<br>(77 К) |
|-----|---------------------------|---------|--------|--------|--|----------------------------------|
|     | 300 К                     | 200 К   | 77 К   | 4.2 К  |  |                                  |
| 0   | 0.0017                    | 0.00263 | 0.0023 | 0.0019 | 5.11   | $2.78 \cdot 10^{21}$             |
| 0.2 | —                         | 0.00126 | 0.0015 | 0.0017 | 3.42   | $4.25 \cdot 10^{21}$             |
| 0.3 | 0.0053                    | —       | 0.002  | 0.0016 | —  | $4.46 \cdot 10^{21}$             |
| 0.4 | —                         | 0.00252 | 0.0011 | 0.0013 | 1.08   | $5.79 \cdot 10^{21}$             |
| 0.6 | —                         | 0.003   | —      | 0.0293 | —  | —                                |
| 0.7 | —                         | 0.0027  | 0.0018 | —      | 0.22   | $3.47 \cdot 10^{21}$             |
| 0.8 | -0.0015                   | 0.016   | 0.0336 | —      | 4.39   | $1.86 \cdot 10^{20}$             |
| 0.9 | -0.04                     | -0.0032 | -0.46  | -193   | —  | $1.36 \cdot 10^{20}$             |

В  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  при содержании свинца  $z \leq 0.5$  примесная полоса In находится глубоко в валентной  $L$ -зоне на фоне  $\Sigma$ - и  $\Delta$ -экстремумов [8,9] с высокой плотностью состояний [15]. В результате большая суммарная плотность состояний на уровне Ферми приводит к эффективному процессу обмена носителями заряда между примесными и зонными состояниями, что проявляется в малой величине подвижности дырок (резонансное рассеяние) и высоких значениях СП-параметров ( $T_c \approx 4.2$  К для  $z = 0.4-0.5$ , рис. 1). Коэффициент Холла  $R$  (см. рис. 3 и таблицу) в этой области составов слабо уменьшается, что можно объяснить перераспределением носителей между экстремумами легких и тяжелых дырок и примесной полосой In. Увеличение количества свинца до  $z = 0.6$  приводит к сближению примесной полосы и края тяжелой валентной зоны (уровень Ферми проходит критическую точку зонного спектра), при этом уменьшается гибридизация зонных и примесных состояний и соответственно снижается  $T_c$  до 2.8 К в образце  $(\text{Pb}_{0.6}\text{Sn}_{0.4})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$ . Одновременно в этом образце наблюдается значительное (примерно на порядок при  $T = 4.2$  К) увеличение коэффициента Холла  $R$ .

Минимальные значения коэффициента Холла на рис. 3 наблюдаются в области составов соответствующих бесцелевому состоянию не легированного индием твердого раствора  $\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z}\text{Te}$  ( $z = 0.65$ , [1,2]). Именно в сплавах  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  с  $z = 0.6-0.7$  происходит низкотемпературный переход сверхпроводник-диэлектрик, как это было обнаружено в [13] и следует из наших данных о сопротивлении при  $T = 4.2$  К, приведенных на рис. 2.

Концентрационная зависимость коэффициента Холла  $R(z)$  (см. рис. 3 и таблицу) позволяет предположить, что в диапазоне составов твердых растворов при  $z > 0.6$  примесная полоса In находится в области запрещенной зоны соединения, что объясняет экспоненциальный рост сопротивления образцов  $\rho(T)$  и коэффициента Холла  $R(T)$  при понижении температуры (рис. 2,3). При увеличении содержания свинца до  $z = 0.9$  полоса In приближается к дну зоны проводимости перекрывается с ней, что подтверждается сменой знака коэффициента

Холла в  $(\text{Pb}_{0.9}\text{Sn}_{0.1})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  в исследованном диапазоне температур.

Как показано выше, при увеличении содержания свинца в  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  значительно изменяются величины сопротивления  $\rho$  и коэффициент Холла  $R$ . Поэтому представляет интерес рассмотрение зависимости холловской подвижности  $R\sigma$  от состава твердого раствора, т.е. соотношения между количеством свинца и олова в металлической подрешетке. Концентрационные зависимости  $R\sigma(z)$  при разных температурах приведены на рис. 4 и в таблице. Низкие значения и слабая температурная зависимость холловской подвижности в образцах  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  свидетельствуют, на наш взгляд, о сильном резонансном рассеянии носителей тока в полосе примесных состояний In [6,8,9], проявляющемся не только при  $T = 4.2$  К, но и при более высоких температурах ( $T \leq 200$  К). Оценка подвижности носителей, обусловленной резонансным рассеянием, в рамках теории, развитой в [6], дает значения  $R\sigma < 10 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ , согласующиеся с полученными экспериментальными данными (рис. 4). Следует отметить, что область минимальных значений температуры СП-пере-

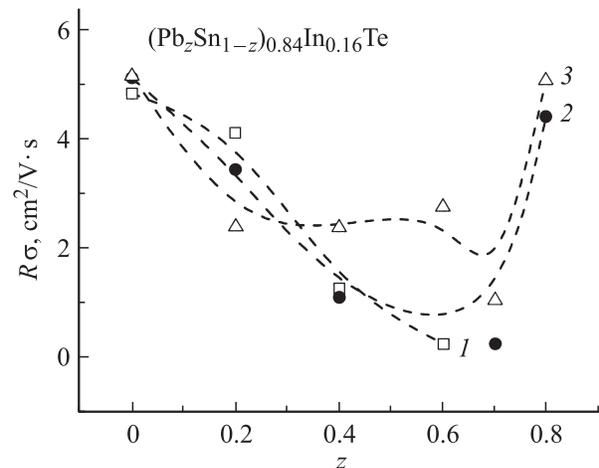


Рис. 4. Зависимости холловской подвижности  $R\sigma$  от содержания свинца  $z$  в твердых растворах  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  при различных температурах.  $T$ , К: 1 — 4.2, 2 — 77, 3 — 200.

хода  $T_c$  в  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  (рис. 1). Таким образом, в твердых растворах  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$ , как и в ранее изученных системах  $\text{PbTe}:\text{Pb}$  [3] и  $\text{SnTe}:\text{In}$  [8], наблюдается корреляция между интенсивностью резонансного рассеяния свободных носителей заряда в квазилокальные примесные состояния и критической температурой СП-перехода.

### 3. Заключение

Впервые исследованы гальваномагнитные свойства полупроводниковых твердых растворов  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})\text{Te}:\text{In}$  с большим содержанием примеси индия  $N_{\text{In}} = 16 \text{ at.}\%$  в широком диапазоне изменения содержания свинца  $z = 0-0.9$  в соединении в температурном интервале 4.2–300 К. Обнаружено, что концентрационные зависимости коэффициента Холла  $R(z)$  в  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  позволяют сделать вывод о смещении полосы примесных квазилокальных состояний In с ростом  $z$  из валентной зоны  $\text{Sn}_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$  в запрещенную зону и зону проводимости  $(\text{Pb}_{0.9}\text{Sn}_{0.1})_{0.84}\text{In}_{0.16}\text{Te}$ , что существенно изменяет вклад гибридизированных зонно-примесных состояний в СП-свойства и гальваномагнитные эффекты изученных соединений.

Низкие значения холловской подвижности согласуются с представлениями о сильном резонансном рассеянии носителей в примесную полосу индия в  $(\text{Pb}_z\text{Sn}_{1-z})\text{Te}:\text{In}$  и коррелируют с величиной температуры СП-перехода  $T_c \leq 4.2 \text{ К}$  соединения.

### Список литературы

- [1] Н.Х. Абрикосов, Л.П. Шелимова. Полупроводниковые материалы на основе соединений  $A^{\text{IV}}B^{\text{VI}}$ . Наука, М. (1975).
- [2] В.И. Кайданов, Ю.И. Равич. УФН **145**, 51 (1985).
- [3] С.А. Немов, Ю.И. Равич. УФН **168**, 817 (1998).
- [4] V.A. Akimov, A.V. Dmitriev, D.R. Khokhlov, L.L. Ryabova. Phys. Status Solidi A **137**, 9 (1993).
- [5] Б.А. Волков, Л.И. Рябова, Д.Р. Хохлов. УФН **172**, 875 (2002); А.И. Белогорохов, Б.А. Волков, И.И. Иванчик, Д.Р. Хохлов. Письма в ЖЭТФ **72**, 178 (2000).
- [6] В.И. Кайданов, С.А. Немов, Ю.И. Равич. ФТП **28**, 369 (1994).
- [7] В.И. Кайданов, С.А. Немов, Р.В. Парфеньев, Д.В. Шамшур. Письма в ЖЭТФ **35**, 517 (1982).
- [8] Г.С. Бушмарина, И.А. Драбкин, В.В. Компаниец, Р.В. Парфеньев, Д.В. Шамшур, М.А. Шахов. ФТТ **28**, 1094 (1986).
- [9] Р.В. Парфеньев, Д.В. Шамшур, С.А. Немов. ФТТ **43**, 1772 (2001).
- [10] R.A. Hein, P.H.E. Meijer. Phys. Rev. **179**, 497 (1969).
- [11] D.U. Gubser, R.A. Hein. Solid State Commun. **15**, 1039 (1974).
- [12] А.В. Березин, С.А. Немов, Р.В. Парфеньев, Д.В. Шамшур. ФТТ **35**, 53 (1993).
- [13] В.И. Козуб, Р.В. Парфеньев, Д.В. Шамшур, Л.В. Шакура, С.А. Немов. Письма в ЖЭТФ **84**, 37 (2006).
- [14] В.В. Голубев, Н.И. Гречко, С.Н. Лыков, Е.П. Сабо, И.А. Черник. ФТП **11**, 1704 (1977).
- [15] О.Е. Квятковский. ФТТ **32**, 2862 (1990).