

ЛОКАЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ В $\text{In}_x\text{Bi}_{2-x}\text{Te}_3$ Азоу С. А., Кульбачинский В. А., Миронова Г. А.,
Скипидаров С. Я.

Исследованы проводимость, эффекты Холла и Шубникова—де-Гааза в твердых растворах теллурида висмута с теллуридом индия при низких температурах и под давлением. При $T < 10$ К наблюдается вымораживание носителей заряда. При $T=4.2$ К под действием всестороннего сжатия сопротивление и коэффициент Холла уменьшаются, что может быть объяснено перераспределением носителей между локальными состояниями и зоной легких дырок.

Теллурид висмута кристаллизуется с отклонением от стехиометрии и имеет p -тип проводимости за счет дефектов, при которых висмут занимает места теллура в решетке, что было доказано прямыми измерениями в [1]. Твердые растворы теллурида висмута с теллуридом индия являются системами с ограниченной растворимостью вторых компонент [2, 3]. Добавление индия подавляет образование дефектов в Bi_2Te_3 за счет большей поляризации связей в решетке, что приводит к снижению концентрации дырок в твердых растворах $\text{In}_x\text{Bi}_{2-x}\text{Te}_3$ с ростом содержания индия [4]. Исследования твердых растворов $\text{In}_x\text{Bi}_{2-x}\text{Te}_3$ проводились до настоящего времени в основном при азотных температурах [5, 6].

В настоящей работе исследованы эффекты Холла и Шубникова—де-Гааза в монокристаллах твердых растворов теллурида индия—теллурида висмута при различных концентрациях индия и под давлением при гелиевых температурах. Параметры исследованных образцов при $T=4.2$ К приведены в таблице. При измерениях ток направлялся вдоль оси C_2 , а магнитное поле — вдоль оси C_3 . С ростом x коэффициент Холла увеличивается, а сечения поверхности Ферми уменьшаются, т. е. концентрация дырок падает.

На рис. 1 приведены зависимости удельного сопротивления ρ и коэффициента термоэдс α ($\nabla T \parallel C_2$) от температуры для образцов с различным содержанием индия. Участок собственной проводимости с экспоненциальным ростом сопротивления с увеличением содержания индия смещается от ≈ 500 до ≈ 200 К (при увеличении содержания индия до $x=0.1$). Максимальные значения α в отличие от ρ находятся при тех же значениях x в области более низких тем-

Параметры исследованных образцов $\text{In}_x\text{Bi}_{2-x}\text{Te}_3$ при 4.2 К

№ образца	x	R_H , см ² /Кл	$S \cdot 10^{-12}$, см ⁻²	μ , см ² /В·с
1	0.01	0.4	24	2500
2	0.02	0.6	18	3300
3	0.04	1.3	13	4800
4	0.07	1.6	7	4200
5	0.1	7.8	—	1100
6	0.1	11.5	—	1200
7	0.11	14.5	—	140

Примечание. x — содержание индия, R_H — константа Холла, S — площадь экстремального сечения поверхности Ферми при $V \parallel C_3$, μ — подвижность.

ператур (рис. 1, б). При температурах, больших температуры максимума, изменяется зависимость коэффициента Холла R_H от магнитного поля (рис. 2) за счет участия в процессах переноса заряда термических электронов и даже изменяется знак R_H в больших магнитных полях (рис. 2, кривая 6).

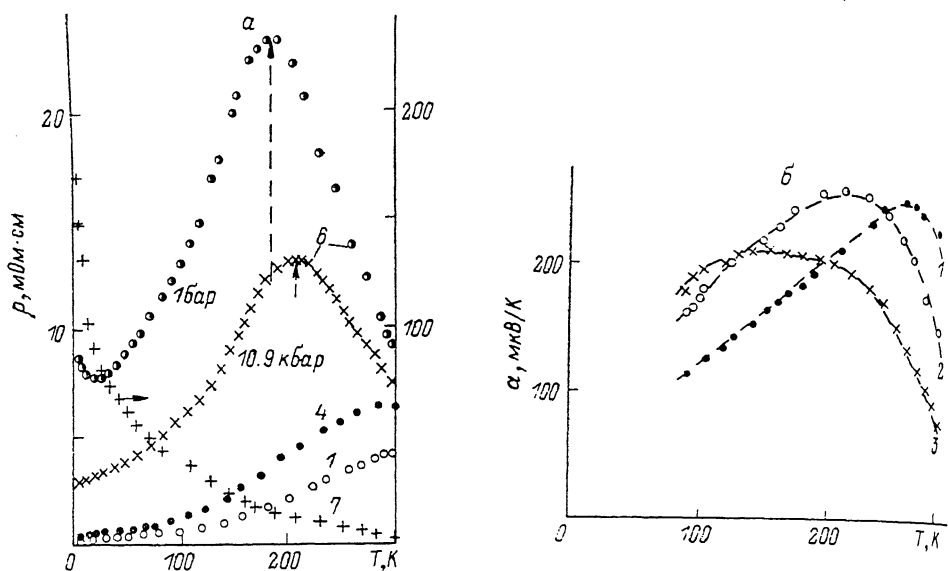


Рис. 1. Зависимости удельного сопротивления ρ (а) и коэффициента термоэдс α (б) от температуры у образцов $\text{In}_x\text{Bi}_{2-x}\text{Te}_3$.

Номера кривых соответствуют номерам образцов в таблице.

По активационному участку зависимости $\rho(T)$ можно определить величину запрещенной зоны E_g , которая для образца 5 оказывается равной $E_g = 0.15$ эВ. Под действием давления E_g уменьшается со скоростью $\partial E_g / \partial p = -(4 \pm 1)$ мэВ/кбар (рис. 3). Полученные значения хорошо согласуются с измеренными

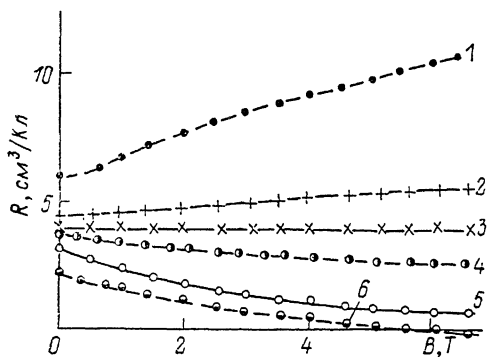


Рис. 2. Зависимость константы Холла у образца 5 от магнитного поля при разных температурах.

T, K : 1 — 4.2, 2 — 90, 3 — 114, 4 — 200, 5 — 273, 6 — 296.

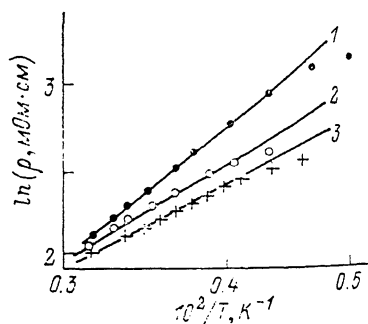


Рис. 3. Зависимость логарифма сопротивления образца 6 от обратной температуры при разных давлениях.

$P, \text{кбар}$: 1 — 10.9, 2 — 9.1, 3 — 10.9.

ранее для Bi_2Te_3 в [7], что свидетельствует, по-видимому, о слабой зависимости параметров энергетического спектра у теллурида висмута от содержания индия x (во всяком случае при $x < 0.1$).

При $50 < T < 200$ К величина наклона кривой $\ln \rho$ от $\ln T$, определенная для образца 6, оказывается равной 1.1 и растет под давлением до 1.4 при давлении 0.9 кбар, что соответствует увеличению вклада примесного рассеяния.

Ниже 10 К в образцах 6, 7 наблюдается рост сопротивления при понижении температуры (рис. 4), который соответствует энергии активации $E_a < 1$ мэВ. Под действием всестороннего сжатия рост сопротивления при $T < 10$ К сменяется на небольшое падение (рис. 4), а максимум сопротивления смещается в сторону больших температур (рис. 1, а, кривая б). Отметим, что температура максимума $\rho(T)$ соответствует величине температуры вырождения носителей

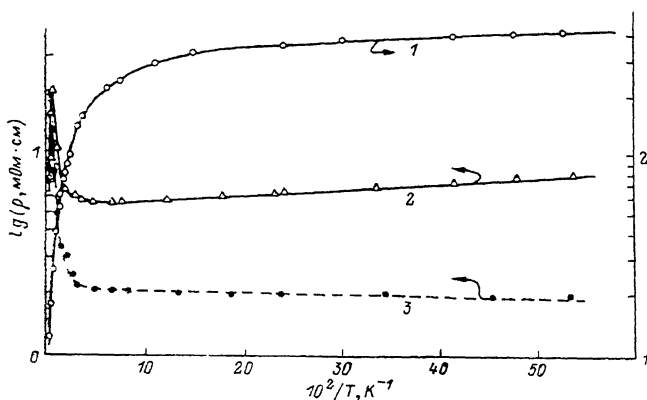


Рис. 4. Зависимости логарифма сопротивления от обратной температуры у образцов 7 (1) и 6 (2, 3) при разных давлениях.

P , кбар: 1, 2 — 10^{-3} , 3 — 10^{-9}

заряда образца и растет под действием давления. Приложение давления вызывает также уменьшение сопротивления ρ , константы Холла R_H при гелиевой температуре. Зависимости ρ и R_H для образца 6 и R_H для образца 5 от давления, приведенные на рисунках, измерены при гелиевой температуре. За счет разной сжимаемости материала камеры высокого давления и керосиномазляной смеси, передающей давление на образец, они меньше на ~ 3.5 кбар давления в камере при комнатной температуре.

Таким образом, в твердых растворах $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{—In}_2\text{Te}_3$ p -типа при низких температурах наблюдается увеличение сопротивления при $T < 10$ К в образцах с концентрацией дырок менее $5 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-3}$ (рис. 4), связанное с вымораживанием

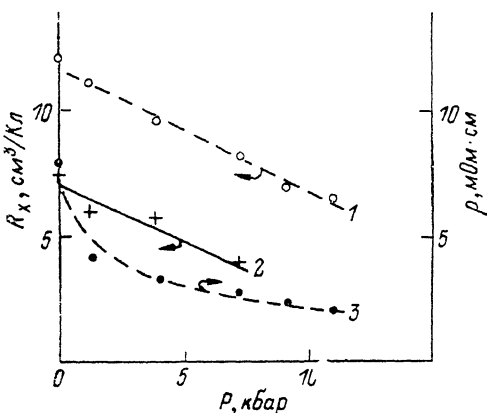


Рис. 5. Зависимости константы Холла R_H (1, 2) и удельного сопротивления (ρ) от давления при 4.2 К у образцов 5 (2) и 6 (1, 3).

свободных носителей и свидетельствующее о наличии локальных примесных состояний в кристаллах (или примесной зоны). Этот вывод подтверждается исследованиями под давлением. Давление вызывает смещение зоны легких дырок вверх относительно положения локальных состояний и перетекание электронов из экстремума легких дырок на локальные уровни, уменьшающее сопротивление и коэффициент Холла (рис. 5), аналогично тому как это наблюдалось в $p\text{-Bi}_2\text{Te}_3\langle\text{Sn}\rangle$ [8]. Возможно также, что примесные состояния образуют примесную зону, возникающую при введении индия, которая смещается вверх под давлением с несколько другой скоростью, чем экстремум с легкими дырками. Об этом свидетельствует относительно небольшое уменьшение R_H (при давлении 10.9 кбар на 40 %; рис. 5).

В заключение благодарим Я. Горака и П. Лоштыка за предоставление образцов.

Список литературы

- [1] Miller G. R., Che-Ya-Li // J. Phys. Chem. Sol. 1965. V. 26. N 7. P. 173—177.
- [2] Rosen A. J., Strauss A. J. // J. Phys. Chem. Sol. 1961. V. 19. N 1. P. 105—116.
- [3] Гурьева Е. А., Заславский А. И., Кутасов В. А., Смирнов И. А. // ФТТ. 1965. Т. 7. N 4. С. 1221—1228.
- [4] Horak J., Lostak P., Benes L. // Phil. Mag. 1984. V. 50. N 6. P. 665—671.
- [5] Кутасов В. А., Лукьянова Л. И. // ФТТ. 1980. Т. 22. В. 7. С. 2196—2198.
- [6] Rancig J., Horak J., Stary Z. // Phys. St. Sol. (a). 1987. V. 103. N 2. P. 517—526.
- [7] Аверкин А. А., Грязнов О. С., Санфиров Ю. Э. // ФТП. 1976. Т. 10. В. 3. С. 584—587.
- [8] Кульбачинский В. А., Клокова Н. А., Горак Я., Лоштяк П., Азоу С. А., Миронова Г. А. // ФТТ. 1989. Т. 31. В. 1. С. 205—208.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Получена 21.07.1989
Принята к печати 28.09.1989