



Beynəlxalq Konfrans "Fizika-2005" International Conference "Fizika-2005" Международная Конференция "Fizika-2005"

7 - 9
İyun
June 2005
Июнь

səhifə
page 273-276
стр.

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ $PbTe$ и $Pb_{1-x}Mn_xTe$ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

АГАЕВ З.Ф., БАГИЕВА Г.З., АЛЛАХВЕРДИЕВ Э.А.,
ИСМАЙЛОВА Р.А., ЮСИФОВ В.В., АБДИНОВ Д.Ш.

*Институт Физики НАН Азербайджана,
Баку AZ-1143, пр. Джавида 33*

Приведены результаты исследований по влиянию магнитного поля на ρ , R_x и α монокристаллов $Pb_{1-x}Mn_xTe$, прошедших и не прошедших отжиг после их выращивания. Полученные результаты объяснены существованием в этих кристаллах двух валентных зон и изменением расстояний между этими зонами с температурой и концентрацией атомов марганца.

Кристаллы $PbTe$ и твердые растворы на его основе используются для изготовления различных приборов, в частности термоэлектрических устройств и приемников инфракрасного излучения и поэтому интенсивно исследуются [1]. Однако, в основном, исследования проведены в системах аналогов, таких как $PbTe-SnTe$, $PbTe-GeTe$ и т.д. [2,3], в которых наблюдается уменьшение ширины запрещенной зоны при образовании твердого раствора. В последние годы интенсивно исследуются полумангнитные твердые растворы на основе $PbTe$, в том числе $Pb_{1-x}Mn_xTe$ [4]. При образовании указанного твердого раствора сильно возрастает ширина запрещенной зоны E_g ($dE_g/dx=3,4$ эВ) и в магнитном поле происходит изменение энергетического спектра носителей заряда благодаря их обменному взаимодействию с электронами магнитных ионов марганца [5]. В связи с этим исследования влияния магнитного поля на физические свойства монокристаллов $Pb_{1-x}Mn_xTe$ представляют определенный научный и практический интерес.

В данной статье приводятся данные по влиянию магнитного поля на удельное сопротивление ρ , коэффициенты Холла R_x и термоэдс α монокристаллов $Pb_{1-x}Mn_xTe$ ($0 \leq x \leq 0,4$) при ~ 77 К и 300 К.

На рис. 1 представлены данные по зависимости $\Delta\rho/\rho_0$ (магнетосопротивление) от индукции магнитного поля B для различных образцов монокристаллов $PbTe$ до и после отжига, соответственно. Кривые 2 и 3 на рис. 1 (а) соответствуют образцам, обладающими при 77 К p -типом проводимости, а кривая 3 n -типом проводимости. После отжига при $\sim 400^\circ$ С в

атмосфере спектрально чистого аргона в течение ~ 120 часов все образцы обладали n -типом проводимости.

В таблице 1 приведены исходные параметры исследованных образцов. Концентрация и подвижность электронов и дырок вычислены из данных коэффициента Холла (R_x), измеренного при $B=0,55$ Тл по формуле для одного типа носителей заряда.

Из данных рис. 1 и таблицы 1 следует, что в образцах p -типа проводимости магниторезистивный эффект при $B \leq 0,55$ Тл незначителен (в порядке $\sim 2-3\%$). Образцы же с n -типом проводимости обладают достаточно высоким магниторезистивным эффектом. Это обусловлено, в первую очередь, высокой подвижностью электронов относительно дырок в образцах $PbTe$. После отжига все образцы становятся полупроводниками с n -типом проводимостью и в них усиливается магниторезистивный эффект.

В $PbTe$ существует вторая валентная зона с относительно большой эффективной массой (около $1,2m_0$). Энергетический зазор между краями зон легких и тяжелых дырок при 0К равен $\sim 0,17$ эВ и с ростом температуры уменьшается со скоростью $4 \cdot 10^{-4}$ эВ/К так, что расстояние между краями зоны проводимости и зоны тяжелых дырок остается неизменным. При температуре ~ 450 К энергетический зазор между валентными зонами исчезает (при ~ 300 К он равен $\sim 0,04$ эВ), а при дальнейшем росте температуры край зоны тяжелых дырок находится выше края зоны легких дырок и ширина запрещенной зоны, равная теперь энергетическому расстоянию между краями зоны проводимости и зоны тяжелых

дырок, не зависит от температуры и равна $\sim 0,36$ эВ.

С введением атомов марганца в PbTe происходит расширение ширины запрещенной зоны, т.е. атомы Mn влияют на E_g так же, как и температура, и E_g в этом случае растет за счет уменьшения зазора между краями зон легких и тяжелых дырок [6]. Таким образом, с введением Mn в PbTe растет концентрация тяжелых дырок и средняя эффективная масса дырок. В результате в составах $Pb_{1-x}Mn_xTe$ магниторезистивный эффект становится меньше (в порядке ошибки эксперимента), чем в образцах PbTe.

В области слабых магнитных полей ($\mu^2 B^2 \ll 1$) с ростом поля коэффициент Холла уменьшается пропорционально B^2 и эта зависимость выражается соотношением [7]:

$$R_B = R_0 \left[1 - m_d^2 B^2 \left(A^2 - 2C - \frac{D}{A} \right) \right]$$

здесь

$$A = \frac{\langle M^2 \rangle}{\langle M \rangle^2} = \frac{\langle \Phi^2 \rangle}{\langle \Phi \rangle^2};$$

$$C = \frac{\langle M^3 \rangle}{\langle M \rangle^3} = \frac{\langle \Phi^3 \rangle}{\langle \Phi \rangle^3};$$

$$D = \frac{\langle M^4 \rangle}{\langle M \rangle^4} = \frac{\langle \Phi^4 \rangle}{\langle \Phi \rangle^4}$$

где τ - время свободного пробега носителей заряда.

Видно, что коэффициент пропорциональности в зависимости R_x от B зависит от квадрата подвижности и механизма рассеяния. Следовательно, исследуя зависимость R_x от B при слабых полях можно получить информацию о механизме рассеяния носителей заряда.

На рис. 2 представлены зависимости R_x от квадрата индукции магнитного поля (B^2) при $\sim 77K$ (рис.2.a) и $\sim 300K$ (рис. 2.b) для образцов, прошедших и не прошедших термообработки.

В таблице 2 приведены значения R_0 и коэффициента пропорциональности $\text{tg } \varphi = m^2 \left(A^2 - 2C + \frac{D}{A} \right)$. Из этих

данных следует, что для всех исследованных образцов PbTe выполняется зависимость $R_x \sim B^2$ при магнитных полях до $\sim 0,55$ Тл. При $\sim 77K$ значения $\text{tg} \varphi$ для образцов больше, чем при 300К. Кроме того, после термообработки значение $\text{tg} \varphi$ при $\sim 77K$ несколько растет. Рост $\text{tg} \varphi$ при уменьшении температуры от 300 до 77К обусловлен ослаблением рассеяния носителей заряда от колебаний решетки и усилением рассеяния на ионизированных точечных дефектах.

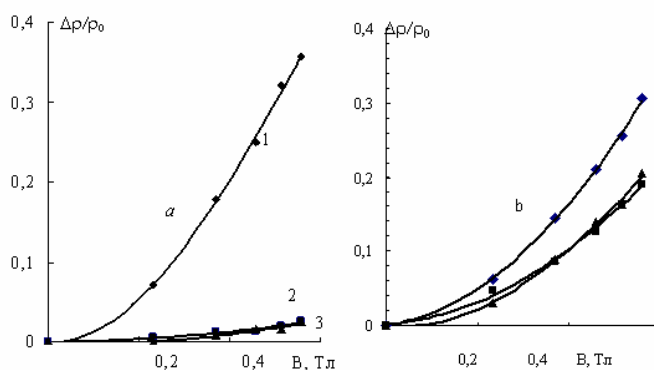


Рис.1. Зависимость $\Delta\rho/\rho_0$ от индукции магнитного поля B , для образцов PbTe, не прошедших (a) и прошедших (b) термическую обработку при $400^\circ C$ в течении 120 часов в атмосфере спектрально чистого аргона.

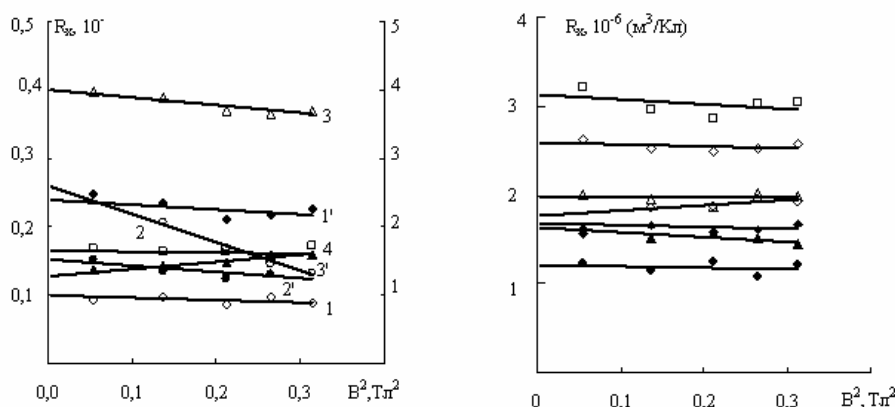


Рис. 2. Зависимость коэффициента Холла в магнитном поле от квадрата индукции магнитного поля при 77K(a) и 300K(б) для различных образцов PbTe, не прошедших (кривые 1 – 4) и прошедших (кривые 1' - 3') отжиг.

Электрофизические параметры образцов РbТе до и после термообработки.

До термообработки

Образцы РbТе	Тип проводимости	77К					Тип проводимости	300К				
		σ Ом ⁻¹ см ⁻¹	α мкВ/К	R_x см ³ /Кл	$n \times 10^{-18}$ см ⁻³	μ см ² /(В·с)		σ Ом ⁻¹ см ⁻¹	α мкВ/К	R_x см ³ /Кл	$n \times 10^{-18}$ см ⁻³	μ см ² /(В·с)
№1	<i>n</i>	2603	114,4	0,95	6,6	2473	<i>n</i>	58.8	270.5	2.5	2.5	147
№2	<i>p</i>	3,5	144,6	13	0,5	45,5	<i>p</i>	221.5	277	1.95	3.2	432
№3	<i>p</i>	21.3	31.9	3.9	1.61	83.1	<i>p</i>	55.9	275.2	2	3.14	111.8

После термообработки

Образцы РbТе	Тип проводимости	77К					Тип проводимости	300К				
		σ Ом ⁻¹ см ⁻¹	α мкВ/К	R_x см ³ /Кл	$n \times 10^{-18}$ см ⁻³	μ см ² /(В·с)		σ Ом ⁻¹ см ⁻¹	α мкВ/К	R_x см ³ /Кл	$n \times 10^{-18}$ см ⁻³	μ см ² /(В·с)
№1	<i>n</i>	443.6	73.2	2.3	2.73	1019	<i>n</i>	42	162.5	1.7	3.7	71.4
№2	<i>n</i>	926.6	66	1.3	4.8	1204	<i>n</i>	80	99	1.2	5.23	96
№3	<i>n</i>	1157	80.7	1.6	3.93	1851	<i>n</i>	99	143.4	1.5	4.2	148.5

При термообработке происходит диффузия и равномерное распределение избыточных атомов теллура по всему объему и их частичное улетучивание (несмотря на то, что отжиг проводится в атмосфере аргона), вследствие чего образцы становятся полупроводниками с *n* – типом проводимости. Образовавшиеся дефекты усиливают процесс рассеяния носителей заряда от ионов, и соответственно, значение $\text{tg}\varphi$ при 77 К растет.

На рис. 3 показано влияние магнитного поля на коэффициент термоэдс α монокристаллов РbТе при температуре ~ 100 К. Образцы, не прошедшие термообработку при ~ 100 К обладают *p* – типом проводимости. Образец №3 до 100 К обладает *n* – типом проводимости. Из рис. 3 также следует, что заметное влияние магнитного поля на α наблюдается только в случае образца РbТе №3, не прошедшего термообработку. В других случаях изменение α под действием магнитного поля не превышает 5–6 %. При температуре 300 К изменение α в магнитном поле в порядке ~ 2 -3% (порядка погрешности эксперимента).

При воздействии на образец магнитного поля, перпендикулярного направлению движения электронов, носители заряда отклоняются под действием силы Лоренца. При этом, носители которые слабее рассеиваются и поэтому имеют большее время свободного пробега в магнитном поле, отклоняются больше, чем сильно рассеивающиеся носители. В образцах РbТе при 100 К преимущественный вклад

имеет рассеяние электронов и дырок на акустических фоновых, которому быстрые носители подвержены в большей степени, чем медленные. Поэтому магнитное поле в основном отклоняет носители с меньшей энергией, и их вклад в ток уменьшается.

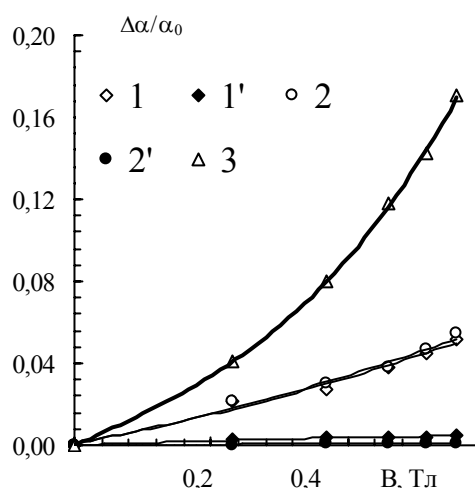


Рис. 3. Зависимость коэффициента термоэдс от индукции магнитного поля для различных образцов РbТе *n* – (кривая 1) и *p* – типов (2, 3, 1', 2'), не прошедших термическую обработку. Кривые 1 – 3 при 77К, кривые 1' – 2' при 300К.

Таблица 2

Значения R_0 и $\text{tg}\varphi$ для различных образцов PbTe.

Образцы PbTe	77К				300К			
	До термообработки		После термообработки		До термообработки		После термообработки	
	$\text{tg}\varphi$	R_0	$\text{tg}\varphi$	R_0	$\text{tg}\varphi$	R_0	$\text{tg}\varphi$	R_0
№1	$-4 \cdot 10^{-7}$	10^{-6}	$-7 \cdot 10^{-7}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$-2,6 \cdot 10^{-7}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$-4,1 \cdot 10^{-7}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$
№2	$-4,3 \cdot 10^{-7}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$	$-8,2 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$-5,2 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$-2 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-5}$
№3	$-1,1 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$-9,3 \cdot 10^{-6}$	$9,3 \cdot 10^{-6}$	$-6 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	$-6 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$

Подвижность носителей заряда с большей энергией в исследованных образцах PbTe мала, влияние магнитного поля на среднюю энергию носителей и следовательно, на коэффициент термоэдс невысокое. Судя по значению коэффициента Холла R_x , образец

№3 обладает более совершенной структурой и подвижностью дырок при ~ 100 К. Этим и обусловлено заметное (до $\sim 18\%$) увеличение α в этом образце под действием магнитного поля.

-
- [1]. Гавалешко Н.П., Горлей П.Н., Шендеровский В.Л. Узкозонные полупроводники. Получение и физические свойства. Киев.: Наукова Думка. 1984. 287 с.
- [2]. Патли Е. Сульфид, селенид и теллурид свинца. В сб. Материалы используемые в полупроводниковых приборах. Под ред. К.Хогарта. М.: Мир.1968. С. 99-143.
- [3]. Равич Ю.И. О свойствах халькогенидах свинца. В сб. Материалы используемые в полупроводниковых приборах. Под ред. К.Хогарта. М.: Мир.1968. С. 273-301.
- [4]. Gorska M., Anderson I.R. Phys. Rev. B. 1988. V.38.№13. P. 9120-9126.
- [5]. Засавицкий И.И., Ковальчик Л., Мацонашвили Б.Н., Сазонов А.В. ФТП. 1988. Т.22. №12. С. 2118-2123.
- [6]. Агаев З.Ф., Аллахвердиев Э.А., Муртузов Г.М., Абдинов Д.Ш. Неорганические материалы. 2003. Т.39. №5. С.543-545.
- [7]. Киреев П.С. Физика полупроводников. М.: Высшая школа. 1975. 584с.