

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ PbTe ЛЕГИРОВАННЫХ ТАЛЛИЕМ

Г. А. АХМЕДОВА, Д. Ш. АБДИНОВ

Институт Физики им. академика Г.М. Абдуллаева

НАН Азербайджана

AZ 1143, Баку, пр. Г. Джавида 33

e-mail: gulgun_ahmed@yahoo.com

Tallium atomları ilə legirə edilmiş PbTe monokristallarında elektrikkeçirmə, termo-e.h.q. və Holl əmsalları tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, kinetik əmsalların qiymətləri və onların temperatur asılılıqları, termo-e.h.q. və Holl əmsallarının aşağı temperaturlardakı işarəsi həmçinin zona və kristal quruluşunun xüsusiyyətləri, struktur defektlərinin və termik işlənmənin xarakteri ilə müəyyən edilir.

The electrical conductivity, thermo-e.m.f. and Hall factors of single crystalline PbTe samples alloyed with thallium atoms have been investigated. It is shown, that values and temperature dependences of kinetic parameters, also sign of thermo-e.m.f. and Hall factors at the low temperatures are defined by features of band and crystal structures, character of structural defects and heat treatment.

Исследованы коэффициенты электропроводности, термо-э.д.с и Холла монокристаллических образцов PbTe, легированных атомами таллия. Показано, что значения и температурные зависимости кинетических параметров, а также знак коэффициентов термо-э.д.с и Холла при низких температурах определяется особенностями зонной и кристаллической структур, характером структурных дефектов и термической обработки.

Электрофизические параметры образцов PbTe и их температурные зависимости сильно зависят от реальной структуры и режима термической обработки [1-3]. Поэтому, для выяснения природы и механизма действия легирующих примесей на электрические свойства PbTe, которому посвящено много работ, в частности работы [4-6], необходимо учитывать эти факторы.

В настоящей работе в области температур 80–300 К исследованы коэффициенты электропроводности (σ), термо-э.д.с (α), Холла (R) и подвижности (μ) в монокристаллических образцах PbTe, легированных атомами таллия (Tl) до и после термообработки в определенном режиме. Синтез образцов проводился прямым сплавлением высокочистых исходных компонентов в кварцевых ампулах, откачанных до остаточного давления $\sim 10^{-3}$ Па, при температуре ~ 1100 °С с применением вибрационного перемешивания. Образцы были легированы 0,005; 0,01; 0,05; 0,1; 0,2 и 0,4 ат.% Tl. Монокристалличность полученных образцов была подтверждена рентгеноструктурным анализом.

Коэффициенты электропроводности (σ), термо-э.д.с (α) и Холла (R) измерены на постоянном токе двухзондовым методом [7].

Были исследованы монокристаллические образцы, не прошедшие термообработку после выращивания, и образцы, прошедшие отжиг при ~ 673 К в течение 120 часов в атмосфере спектрально чистого аргона.

Результаты измерений кинетических параметров приведены на рисунках 1 и 2.

До термической обработки все образцы имели p-тип проводимости. Для неотожженного образца PbTe и образца PbTe легированного 0,005 ат.% Tl электропроводность незначительно изменяется с ростом температуры и имеет активационный характер. Для остальных образцов зависимость $\sigma(T)$ более сильная, особенно, при низких температурах и имеет металлический характер. С ростом содержания примесей Tl значения электропроводности неотожженных образцов растет (рис.1а). Термо-э.д.с для всех

неотожженных образцов с ростом температуры растет, но абсолютные значения α в них с ростом содержания легирующей примеси Tl уменьшается (рис. 1б). Коэффициент Холла (рис.1с) имеет слабую температурную зависимость и с ростом содержания примесей Tl также уменьшается по абсолютной величине. Данные, приведенные в [8] показывают, что лишь для монокристаллических образцов PbTe коэффициент Холла имеет более сильную температурную зависимость ($R_{77}/R_{300} \approx 7$).

После термической обработки температурные зависимости кинетических параметров претерпевают существенное изменение.

Электропроводность чистого образца при 77К примерно на три порядка растет и во всем интервале температур обладает металлический ход зависимости. На кривых $\sigma(T)$ некоторых образцов при температурах выше ~ 160 К наблюдается полупроводниковая зависимость. Знаки коэффициента термо-э.д.с. и Холла образцов при температурах ниже 170-250 К отрицательные. С ростом температуры знак α меняется с отрицательного к положительному и в дальнейшем растет с температурой. Такая же тенденция наблюдается и в температурной зависимости коэффициента Холла. Однако, в исследованном интервале температур R_x только для образцов с 0,1 и 0,4 ат.% Tl при ~ 250 К меняет знак и переходят к положительному. Электрические свойства образцов, не прошедших отжиг, в основном определяются ионизированными мелкими уровнями, обусловленными электроактивными вакансиями [9]. Поэтому в этих образцах коэффициент Холла в широком интервале слабо зависит от температуры.

По-видимому, до 0,005 ат.% примеси Tl, располагаясь в вакансиях в подрешетке свинца, частично компенсируют их действие, вследствие чего концентрация дырок уменьшается. Выше 0,005 ат.% примеси Tl замещают атомы Pb в решетке. Так как элемент III группы Tl имеет во внешней оболочке на один электрон меньше, чем замещаемый им атом Pb IV группы, то число состояний в валентной зоне и

соответственно концентрация дырок увеличивается. Это приводит к тому, что в образцах РbТе с большим содержанием примесей Тl смена знака проводимости не наблюдается.

Предполагается, что неотожненные образцы монокристаллов РbТе содержат структурные дефекты и акцепторного характера возникающие в процессе их выращивания.

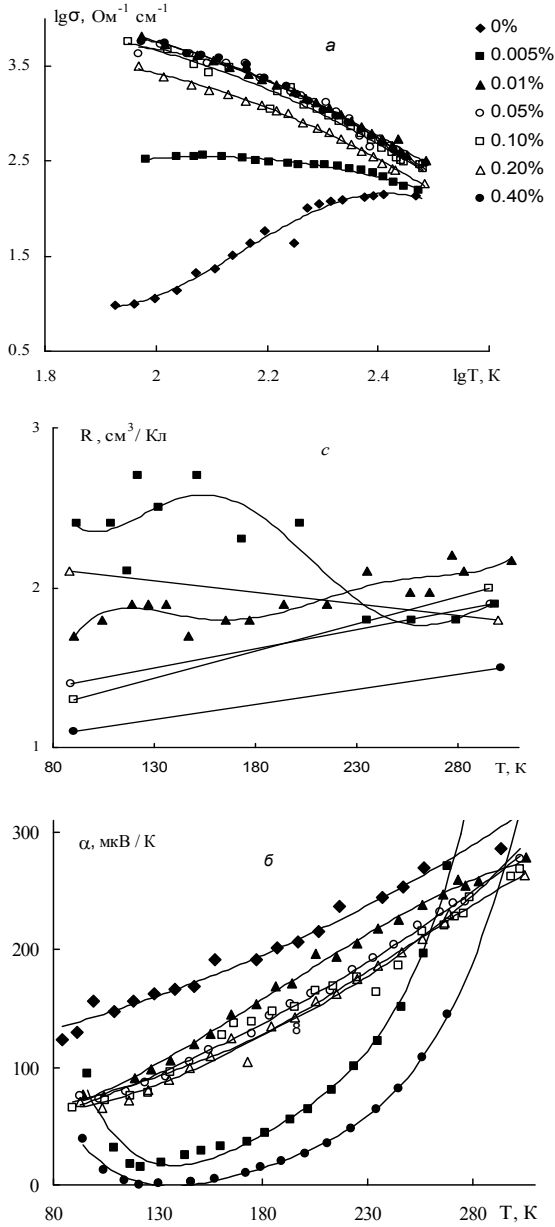


Рис.1. Температурная зависимость коэффициента электропроводности (а), термо-э.д.с (б) и Холла (с) монокристаллов РbТе легированный Тl до отжига.

В результате отжига эти дефекты залечиваются, что приводит к смене знака α и R_x с положительного на отрицательному при низких температурах.

Анализ концентрационной и температурной зависимостей электрических и оптических свойств указывает на существование в РbТе второй валентной зоны (зоны тяжелых дырок) с относительно большой эффективной массой (около $1,2 m_0$) [10-12].

Энергетический зазор между краями тяжелых и легких дырок при низких температурах равен $\sim 0,17$ эВ и с ростом температуры уменьшается со скоростью -4×10^{-4} эВ/К, так что расстояние между краями зоны проводимости и зоной тяжелых дырок остается неизменным.

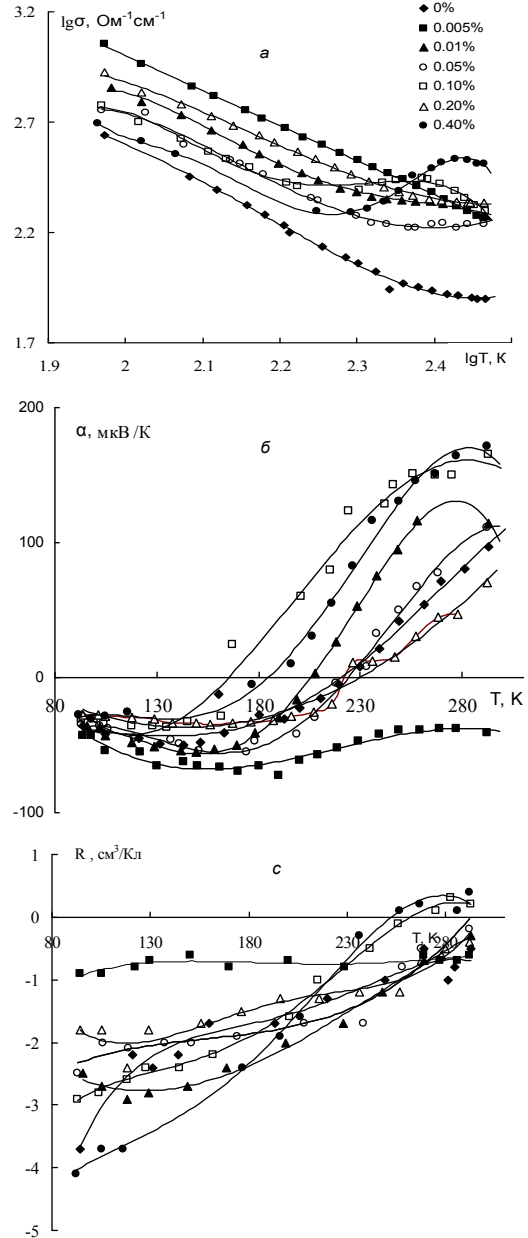


Рис.2. Температурная зависимость коэффициента электропроводности (а), термо-э.д.с (б) и Холла (с) монокристаллов РbТе легированный Тl после отжига.

Это приводит к росту относительной концентрации тяжелых дырок с повышением температуры, в результате чего увеличивается средняя эффективная масса дырок. Другими словами, роль второй валентной зоны (зоны тяжелых дырок) в кинетических явлениях растет, и эта особенность определяет температурные зависимости электропроводности, термо-э.д.с и подвижности носителей тока.

- [1]. *В.И.Кайданов, Ю.И.Равич* УФН, 1985, Т. 145, в. 1, с. 51-86
- [2]. *С.А. Немов, Ю.И. Равич*. Примесь таллия в халькогенидах свинца: методы исследования и особенности. УФН. 1998, Т. 168, №8, С.817-841.
- [3]. *Ю.И. Равич, С.А. Немов*. ФТП, 38, №1, 2002, с.3
- [4]. *З.Ф. Агаев, Э.А. Аллахвердиев, Э.М. Муртузов, Г.М. Багиева, Д.Ш. Абдинов*. Доклады VIII Межгосударственного семинара, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург, (2002)193
- [5]. *З.Ф. Агаев, Э.А. Аллахвердиев, Э.М. Муртузов, Г.М. Багиева, Д.Ш. Абдинов*. Доклады VIII Межгосударственного семинара, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург, (2002)198
- [6]. *З.Ф. Агаев, Э.А. Аллахвердиев, Э.М. Муртузов, Г.М. Багиева, Д.Ш. Абдинов*. Доклады IX Межгосударственного семинара, ФТИ им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург, (2004)253
- [7]. *В.И Охотин., А.С Пушкарский., Р.П Боровиков., В.А.Симонов* Методы измерения характеристик термоэлектрических материалов и преобразователей. М.: Наука, 1974, 168 с.
- [8]. *З.Ф. Агаев, Э.А. Аллахвердиев, Э.М. Муртузов, Д.Ш. Абдинов*. Неорган. Материалы, 39, №5, 2003, с.545
- [9]. *Ю.И. Равич, Б.А. Ефимова, И.А. Смирнов*. Методы исследования полупроводников в применении к халькогенидам свинца PbTe, PbSe, PbS. М.: Наука, 1968, 334 с.
- [10]. *R.N.Tauber, A.A Machonis., I.B.. Cadoff* J. Appl. Phys. 1966, V.37, №113, P. 4855 – 4860.
- [11]. *Е Патли*. Сульфид, селенид и теллурид свинца. Материалы, используемые в полупроводниковых приборах. М.: Мир. 1968. С.97-146.
- [12]. *Ю.И Равич*. О свойствах халькогенидов свинца. Материалы, используемые в полупроводниковых приборах. М.: Мир. 1968. С.271-276.