

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{Pn}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Te}_2$ В СЛАБЫХ И СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

М.М. ЗАРБАЛИЕВ

Азербайджанский Индустриальный Институт
Сумгаит-208, 43-й квартал

Работа посвящена исследованию электропроводности твердых растворов системы PnTe_2 - PNdTe_2 в слабых и сильных электрических полях, коэффициентов Холла, термо-э.д.с. и холловской подвижности носителей заряда в широком интервале температур. Определены тип проводимости, механизм рассеяния носителей заряда, ширина запрещенной зоны, энергии активации примесных уровней, эффективные массы носителей заряда. Построена диаграмма "состав-электрические свойства" этой системы.

ВВЕДЕНИЕ

Лантаноиды представляют собой уникальную группу элементов, что определяется особенностями электронной структуры их атомов, а именно, наличием постепенно заполняющейся, глубоко расположенной 4f - оболочки. Небольшая величина ее эффективного радиуса предотвращает заметное перекрытие 4f - оболочек даже ближайших ионов, поэтому магнитный момент, связанный с 4f - оболочкой, оказывается сильно локализованным. Именно эта особенность приводит к большому разнообразию физических свойств соединений и сплавов лантаноидов [1,2]. Полученные частичным замещением атомов индия атомами лантаноидов твердые растворы и соединения в системах $\text{PnSn}_2(\text{Se}_2, \text{Te}_2)$ - $\text{PnLnSn}_2(\text{Se}_2, \text{Te}_2)$ еще слабо изучены, но чрезвычайно интересны как объекты для фундаментальных исследований, так и в техническом аспекте [3].

В работе [4] исследована система PnTe_2 - PNdTe_2 установлено, что в этой системе при комнатной температуре существует область растворимости до 10 мол. % PNdTe_2 . Твердые растворы $\text{Pn}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Te}_2$ как и исходные соединения PnTe_2 кристаллизуются в тетрагональной сингонии. При соотношении исходных компонентов 1:1 образуется четверное соединение $\text{P}_2\text{InNdTe}_4$. Все составы системы PnTe_2 - PNdTe_2 обладает переключающими свойствами [5].

Образование твердых растворов сопровождается изменением в кристаллической структуре, которое непременно оказывает влияние на зонную структуру. Изменение в зонных параметрах четко отражается на электрических свойствах. Настоящая работа посвящена исследованию электрических свойств твердых растворов $\text{Pn}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Te}_2$ в слабых и сильных электрических полях с целью подтверждения предположений о кристаллической структуре [4,6], получения информации об основных зонных параметрах и параметрах носителей заряда.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Измерение электропроводности и коэффициента Холла в слабых полях проводили на постоянном токе компенсационным методом. При этом ток был направлен вдоль плоскостей естественного скола, а магнитное поле - перпендикулярно им. Электропроводность измерялась в двух, а эффект Холла в четырех направлениях тока и поля при 300-1100 К. Одновременно измерением электропроводности, при данной температуре измерялась термо-э.д.с. Погрешность при измерении электропроводности, коэффициентов Холла и термо-э.д.с. составляла 1,5; 5 и 6%, соответственно.

Исследования электропроводности в сильных электрических полях до напряженности 60 кВ/м были проведены на монокристаллических образцах вдоль слоев и перпендикулярно к слоям по известной схеме [5] в температурном интервале 77-300 К. Расстояние между электродами варьировались от $0,5 \cdot 10^{-3}$ до $2 \cdot 10^{-3}$ м. Для исключения нагрева образца током измерения проводились в импульсном режиме - длительность импульса 4 мкс, частота следования 50 Гц. Образцы имели форму параллелепипеда размерами $4 \times 5 \times 8$ мм³. Омические контакты проверялась по вольт-амперной характеристике.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис.1 приведены температурные зависимости электропроводности (σ) и коэффициента Холла R твердых растворов $\text{Pn}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Te}_2$. Исследованные образцы во всем измеренном интервале температур обладают P-типом проводимости. По высокотемпературным частям наклонов зависимостей $\lg \sigma = f(10^3/T)$ и $\lg RT^2 = f(10^3/T)$ определены ширины запрещенных зон (e_g) твердых растворов $\text{Pn}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Te}_2$. Следует отметить, что для каждого раствора в отдельности высокотемпературные части кри-

вых наклоны зависимостей $\lg \sigma = f(10^3/T)$ и $\lg RT^{3/2} = f(10^3/T)$ оказались почти одинаковыми (рис. 1а и б).

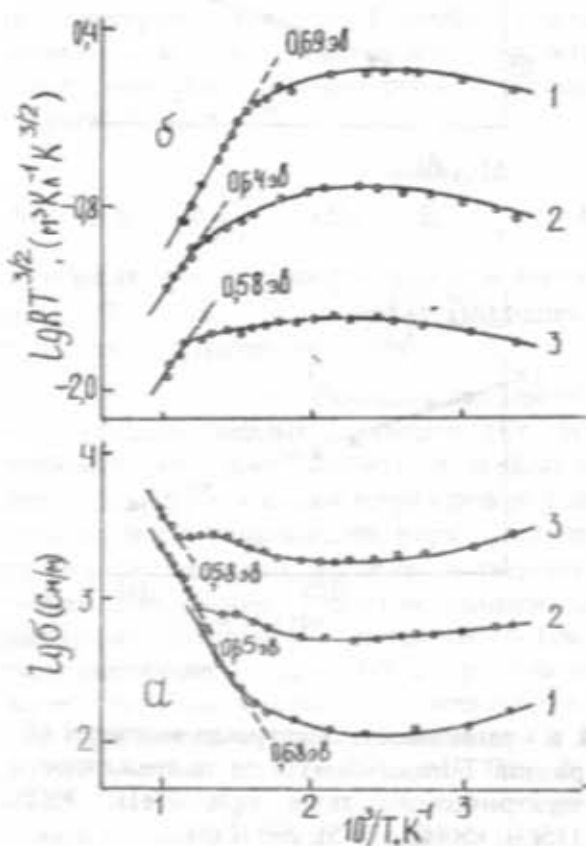


Рис. 1. Температурные зависимости электропроводности (а) и коэффициента Холла (б) твердых растворов $Pn_{1-x}Nd_2Te_2$; кривые 1- $X=0,01$; 2- $X=0,05$; кривые 3- $X=0,10$.

Обнаружено уменьшение электропроводности с ростом температуры при 300-600 К (рис. 1а). Поскольку в этой области концентрация носителей остается постоянной, то уменьшение подвижности ($\mu \sim T^{-3/2}$) и электропроводности обусловлено, в основном, рассеянием носителей заряда на акустических фоновых. В дальнейшем, электропроводность всех исследуемых сплавов экспоненциально увеличивается с ростом температуры, т.е. наступает область собственной проводимости. Вычислены концентрации (P) и эффективные массы (m_p^*) носителей заряда для твердых растворов $Pn_{1-x}Nd_2Te_2$ для стандартной зоны.

На рис.3 представлена зависимость "состав-электрические свойства" твердых растворов $Pn_{1-x}Nd_2Te_2$. Увеличение σ и P , уменьшение ϵ_g с ростом содержания неодима в

составах, повидимому, происходит за счет увеличения металлической доли химической связи.

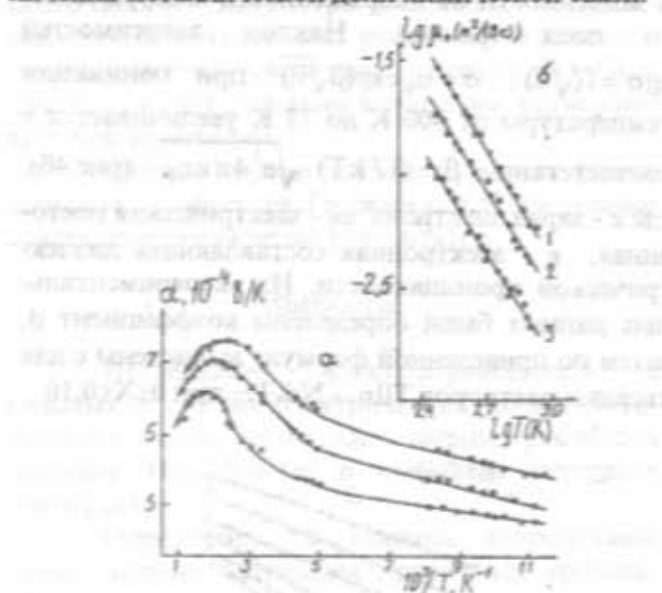


Рис. 2. Температурные зависимости коэффициента термо- э.д.с. (а) и холловский подвижности носителей заряда (б) твердых растворов $Pn_{1-x}Nd_2Te_2$; кривые 1- $X=0,01$; 2- $X=0,05$; кривые 3- $X=0,10$.

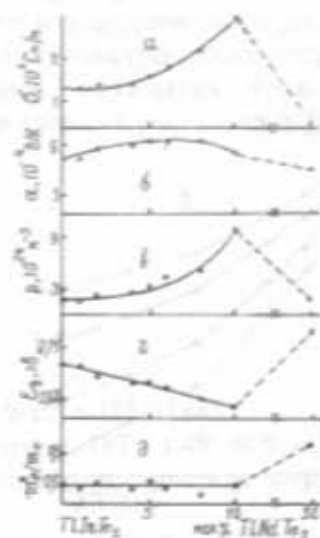


Рис.3. Зависимости: электропроводности (а), термо- э.д.с. (б), концентрация носителей заряда (в), ширины запрещенной зоны (г), эффективной массы дырок (д) от состава твердых растворов системы $PnTe_2 - PNdTe_2$.

Экспериментальные данные по изменению электропроводности (рис.4) твердых растворов $Pn_{1-x}Nd_2Te_2$ в сильных электрических полях качественно объясняется теорией Френкеля [7]. Характер зависимости электропроводности для всех образцов сплавов системы $PnTe_2 - PNdTe_2$, наблюдаемый в широком интервале полей и температур, свидетельствует

об экспоненциальном росте электропроводности в зависимости от напряженности электрического поля (рис.4а). Наклон зависимостей $\lg \sigma = f(\sqrt{E})$. $\sigma = \sigma_0 \exp(\beta \sqrt{E})$ при понижении температуры от 300 К до 77 К увеличивается в соответствии с $\beta = (1/kT) \cdot \sqrt{e^3 4\pi \epsilon \epsilon_0}$ (рис.4б), где e - заряд электрона, ϵ_0 - электрическая постоянная, ϵ - электронная составляющая диэлектрической проницаемости. Из экспериментальных данных были определены коэффициент β , затем по приведенной формуле вычислены e для твердых растворов $\text{Pb}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Te}_2$ при $0 \leq x \leq 0,10$.

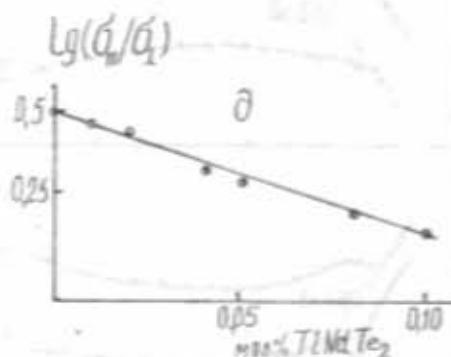
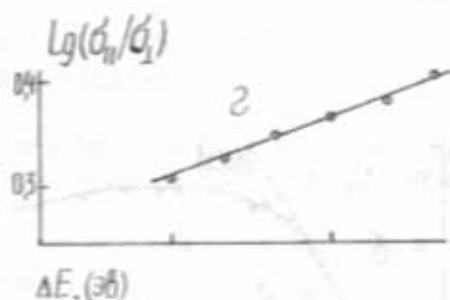
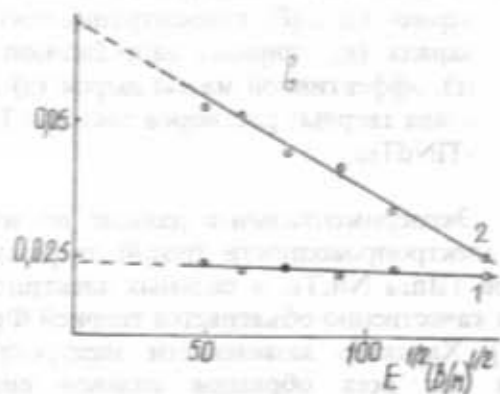
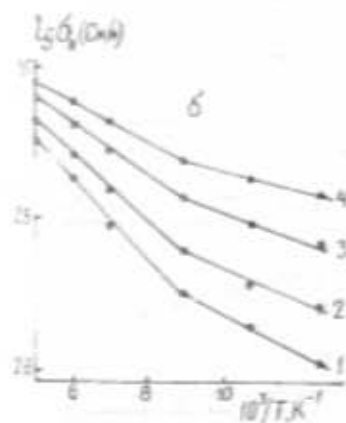
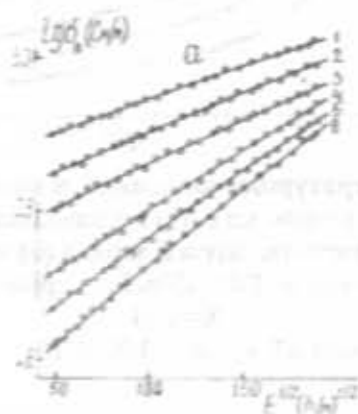


Рис. 4. а - зависимость электропроводности образцов $\text{Pb}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{Te}_2$ от напряженности электрического поля при 77(1), 90(2), 115(3), 150(4), 170(5), 200 К (6).

б - температурная зависимость электропроводности $\text{Pb}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{Te}_2$ при значениях E : 2500 (1), 6400 (2), 14400 (3) и 22500 И/м (4).

в - зависимость энергии активации носителей заряда от напряженности электрического поля для образцов $\text{Pb}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{Te}_2$ кривая 1- для первого, кривая 2- для второго локального уровня.

г - зависимость $\lg(\sigma_1/\sigma_2)$ от напряженности электрического поля при 200 К для $\text{Pb}_{0,95}\text{Nd}_{0,05}\text{Te}_2$.

д - зависимость $\lg(\sigma_1/\sigma_2)$ от состава твердых растворов $\text{Pb}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Te}_2$.

Как следует из рис. 1а, электропроводность твердых растворов $\text{Pb}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Te}_2$ в слабых электрических полях с температурой (до 500 К) медленно уменьшается. Такое квазиметаллическое поведение известно как проводимость по примесной зоне, это подтверждается исследованиями электропроводности твердых растворов $\text{Pb}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Te}_2$ в сильных электрических полях, по данным которых определены энергии активации примесных уровней (рис.4в).

Температурная зависимость электропроводности исследована при различных электрических полях (рис.4б). Как видно из зависимости

$\lg \sigma_{\parallel} = f(10^3/T)$ (рис. 4б) величина электропроводности с ростом электрического поля увеличивается, причем наклон прямых $\lg \sigma_{\parallel} = f(10^3/T)$ уменьшается с увеличением напряженности электрического поля. Этот наклон характеризует энергию активации носителей заряда в сильных электрических полях. Подобное изменение энергии активации в зависимости от электрического поля (рис. 4в) находится в согласии с теорией Френкеля [7]:

$$\Delta E = \Delta E_0 - 2e \sqrt{\frac{eE}{\epsilon}} = \Delta E_0 - \Delta E_2 \quad \text{где, } \Delta E_0 -$$

энергия активации в отсутствии электрического поля, ΔE - изменение энергии активации под влиянием электрического поля.

Исследование электропроводности монокристаллов твердых растворов $\text{Pb}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Te}_2$ показало, что проводимость в направлении, перпендикулярно к слоям тетраэдров (σ_{\perp}), много меньше, чем в направлении, параллельном слоям (σ_{\parallel}). Установлено, что $\sigma_{\parallel}/\sigma_{\perp}$ в твердых растворах $\text{Pb}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Te}_2$ с ростом напряженности электрического поля и с уменьшением температуры увеличивается (рис. 4г), а с ростом содержания неодима в составах уменьшается, что подтверждает рассуждения о структуре и химических связях в твердых растворах $\text{Pb}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Te}_2$ [4]. Полученные результаты можно интерпретировать с позиций теории Френкеля-Пуля, которая дает основание полагать, что рассмотренные зависимости электропроводности σ , энер-

гии активации ΔE от напряженности электрического поля и температуры в сильных электрических полях обусловлены увеличением концентрации носителей тока в твердых растворах $\text{Pb}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Te}_2$ за счет действия механизма термоэлектронной ионизации.

Считаю своим долгом выразить благодарность профессору Годжаеву Э.М. за ценные советы при обсуждении результатов.

ВЫВОДЫ

Исследованы электропроводность в сильных и слабых электрических полях, коэффициент Холла, термо- э.д.с. твердых растворов системы $\text{Pb}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Te}_2$ в широком интервале температур.

Определены их ширина запрещенной зоны, энергии активации примесных уровней, эффективные массы носителей заряда.

Установлено, что при $T > 300$ К носители заряда рассеиваются, в основном, на акустических фононах, анизотропии электропроводности уменьшается с ростом содержания неодима в исследуемых образцах.

Выявлено, что изученные зависимости электропроводности и энергии активации от напряженности электрического поля и температуры в сильных электрических полях обусловлены действием механизма термоэлектронной ионизации в твердых растворах $\text{Pb}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Te}_2$.

1. F.E.Poltmann, H.Hahn. Zs. Naturwiss. 1971, Bd.58, № 1, s. 54-58.
2. S.Kabre, J.P.Mand, M.Guittard. Bull.Soc. Chem., France, 1974, t.9-10, p.1881-1885.
3. Э.М.Годжаев, М.М.Зарбалиев, Ф.М.Новрузова, Физическая химия, 1975, т.49, № 9, с.2458-2459.
4. Э.М.Годжаев, М.М.Зарбалиев, К.М.Джафаров, С.Л.Мамедов, Неорганические материалы, 1980, т.16, № 11, с.1932-1935.
5. Э.М.Годжаев, М.М.Зарбалиев, Неорганические материалы, 1979, т.15, № 9, с. 1558-1560.
6. Э.М.Годжаев, М.М.Зарбалиев, В.А.Гаджиев, Неорганические материалы, 1980, т.16, № 11, с. 1929-1931.
7. Я.И.Френкель. Собрание избранных трудов, М.-Л.: Изд. АН СССР, 1958, т.2, с. 217.

M.M.ZƏRBƏLİYEV

$\text{Pb}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Te}_2$ BƏRK MƏHLULLARININ ZƏİF VƏ QÜVVƏTLİ ELEKTRİK SAHƏLƏRİNDƏ ELEKTRİK XASSƏLƏRİ

İş $\text{Pb}_{1-x}\text{Nd}_x\text{Te}_2$ sisteminin bərk məhlullarının geniş temperatur intervalında zəif və qüvvətli elektrik sahələrində elektrik keçiriciliyi, Holl və termo- e.h.q. əmsalları və yükdaşıyıcıların Holl yüyürüklüyünün tədqiqinə həsr olunmuşdur. Keçiriciliyin növü, qadağan zonanın eni, aşqar səviyyələrinin aktivləşmə enerjisi, yükdaşıyıcıların effektiv kütlələri və səpilmə mexanizmi müəyyən olunmuş, həmin sistemin elektrik xassələrinin tərkibindən asılılıq diaqramı qurulmuşdur.

M.M.ZARBALIYEV

ELECTRICAL PROPERTIES OF SDID SOLUTIONS $TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$
IN WEAK AND STRONG ELEKTRIK FIELDS

The work is devoted to electrical conduction investigation of solid solutions of $TlIn_{1-x}Nd_xTe_2$ system in weak and strong elektrik fields, Hall coefficients, thermo- e.m.f. and Hall mobility of charge carriers in a large temperature range.

Type of conductance, dissipation mechanism of charge carriers, width of forbidden zone, activation energy of impurity level, effective mass of charge carriers are determined.

Composition - electrical properties diagram of this system is plotted.