

PACS: 72.20.-i

А.Ю. Моллаев, Р.К. Арсланов, М.И. Даунов, Л.А. Сайпулаева

### ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ДИАРСЕНИДЕ КАДМИЯ–ОЛОВА ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ

Институт физики Дагестанского научного центра РАН  
Россия, 367003, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 94

E-mail: kamilov@datacom.ru, mollaev@datacom.ru

*На монокристаллических образцах  $CdSnAs_2$  исследованы удельное электросопротивление и коэффициент Холла при гидростатическом давлении до 9 GPa. Измерения проведены при подъеме и сбросе давления в области комнатных температур на образцах двух типов: легированных медью и специально нелегированных. Проанализирована динамика изменения электросопротивления и коэффициента Холла с повышением давления. При  $P = 4.2$  GPa обнаружен необратимый фазовый переход, сопровождающийся разложением вещества. По модели гетерофазная структура – эффективная среда рассчитано изменение фазового состава с ростом давления в области фазового перехода.*

#### Введение

Основной целью настоящей работы является исследование энергетического спектра и фазовых превращений в  $CdSnAs_2$ , который является ближайшим электронным кристаллохимическим аналогом бинарного электронного арсенида индия. Ранее [1–4] была изучена зонная структура и фазовые переходы на поликристаллических образцах в диапазоне давлений 0–10 GPa.

В работе [1] по исследованиям транспортных явлений при давлениях  $P \leq 1.5$  GPa был обнаружен глубокий акцепторный уровень на хвосте плотности состояний сильно компенсированного и легированного диарсенида кадмия–олова. Авторы [2] сделали предположение о существовании еще нескольких уровней дефектов. Л.Г. Хвостанцев с сотрудниками, исследуя фазовое равновесие методом закалки под давлением  $P \leq 10$  GPa и температуре 500°C, обнаружили, что фаза II распадается на  $SnAs$ ,  $Cd_3As_2$  и  $As$  [3]. Измерения электросопротивления на прессованных порошках  $CdSnAs_2$  при квазигидростатическом давлении до 10 GPa показали наличие фазовых переходов в диапазоне давлений 3.5–4.5 GPa [4].

Таблица

Коэффициент Холла и удельная электропроводность исследованных образцов CdSnAs<sub>2</sub> при комнатной температуре и атмосферном давлении

Номер образца	Образцы	$-R_H, \text{cm}^3/\text{C}$	$\sigma_0, \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$
1	CdSnAs <sub>2</sub> (Cu)	442.3	4.79
2		268.0	4.45
3		268.0	20.27
4	CdSnAs <sub>2</sub>	3.27	769
5		0.98	3872

В настоящей работе методом измерения удельного сопротивления и коэффициента Холла исследованы энергетический спектр и фазовые превращения CdSnAs<sub>2</sub> при комнатной температуре и гидростатическом давлении до 9 GPa при подъеме и сбросе давления. Измерены образцы двух типов: легированные медью ( $n \approx 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ) и специально нелегированные ( $n \approx 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ). Полученные основные характеристики представлены в таблице, где  $R_H$  – коэффициент Холла,  $\sigma$  – удельная электропроводность.

#### Методика и техника эксперимента

Для достижения цели, поставленной в настоящей работе в развитие методики [5], разработано устройство, позволяющее исследовать гальваномагнитные эффекты при гидростатическом давлении [6]. В качестве измерительной ячейки использовали катленитовый тороид, в отверстие которого помещена фторопластовая капсула с жидкостью. В капсуле находится миниатюрный многovitковый соленоид ( $H \leq 500 \text{ Oe}$ ). Конструкция ячейки позволяет вводить в рабочий объем до 12 электровводов. Давление генерировали пресс-установкой номинальным усилием 630 MN. Устройство дает возможность использовать серийно выпускаемые аппараты высокого давления типа «плоская наковальня с лункой». Образцы CdSnAs<sub>2</sub> вырезали из цельных блоков, шлифовали и травили. Они имели размеры  $2.5 \times 0.8 \times 0.5 \text{ mm}$ .

#### Результаты эксперимента и их обсуждение

На барических зависимостях удельного сопротивления диарсенида кадмия–олова при подъеме давления можно выделить 3 области. В легированных примесью меди монокристаллах CdSnAs<sub>2</sub> ( $n \approx 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ) (рис. 1,а) первая область характеризуется ростом удельного электросопротивления почти на порядок при увеличении давления до  $P \leq 1.5 \text{ GPa}$ , что связано с убыванием концентрации носителей в зоне проводимости. В диапазоне давлений  $P = 1.5\text{--}4 \text{ GPa}$  на барических зависимостях  $\rho(P)$  наблюдается насы-

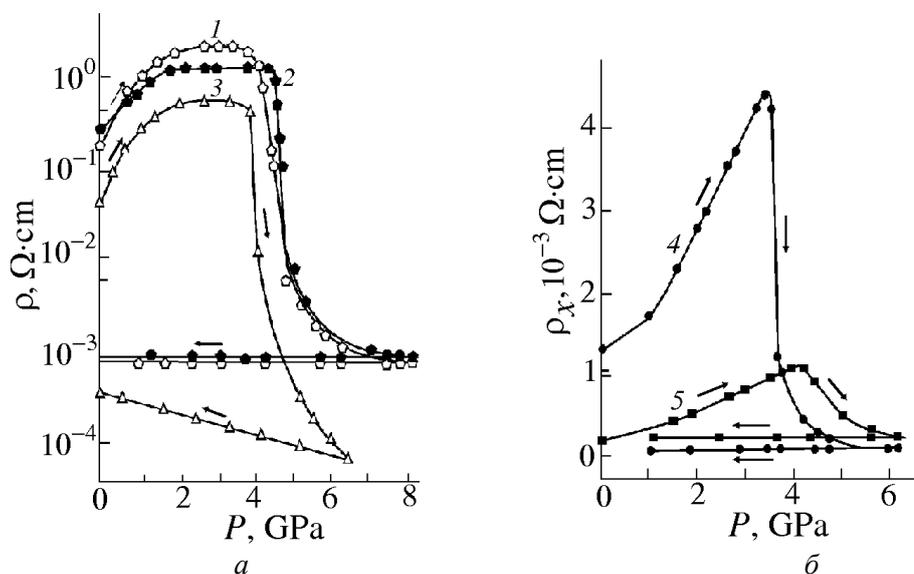
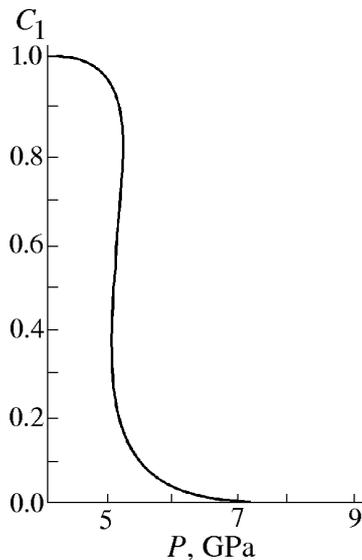


Рис. 1. Зависимость удельного сопротивления  $\text{CdSnAs}_2(\text{Cu})$  (а) и  $\text{CdSnAs}_2$  (б) от давления (номера кривых соответствуют номерам образцов в таблице)

щение, что свидетельствует о вымораживании электронов зоны проводимости в акцепторной зоне. Согласно выражению  $\varepsilon_a = \varepsilon_a^0 + \beta P$  (где  $\varepsilon_a^0 = 30 \text{ meV}$  – энергия акцепторного уровня;  $\beta = 120 \text{ meV/GPa}$  – барический коэффициент ширины запрещенной зоны) с ростом давления дно зоны проводимости удаляется от акцепторной зоны со скоростью, равной барическому коэффициенту ширины запрещенной зоны. Это объясняется тем, что концентрация акцепторных центров больше концентрации электронов зоны проводимости и проводимость в основном определяется вкладом дырок акцепторной зоны, причем дырочная проводимость мало чувствительна к воздействию давления. Коэффициент Холла возрастает по абсолютной величине и проходит через максимум. Отсутствие инверсии знака коэффициента Холла объясняется тем, что отношение подвижностей  $b = \mu_e / \mu_a \gg 1$  (где  $\mu_e$  – подвижность электронов зоны проводимости;  $\mu_a$  – подвижность дырок акцепторной зоны). Известно, что электронный вклад в коэффициент Холла ( $R_H \sim b^2$ ) существеннее, чем в электропроводность ( $\sigma \sim b$ ).

В специально нелегированных кристаллах  $\text{CdSnAs}_2$  ( $n \approx 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) (рис. 1, б) в первой области удельное сопротивление растет слабо при увеличении давления до  $P \leq 1 \text{ GPa}$  ввиду уменьшения подвижности носителей с ростом давления. В диапазоне давлений  $P = 1\text{--}4 \text{ GPa}$  зависимость  $\rho(P)$  резко усиливается, что значительно превышает эффект, обусловленный убыванием подвижности, который наблюдался ранее в работе [2]. Этот факт свидетельствует о существовании квазилокальных уровней дефектов в глубине зоны проводимости (предположительно донор – уровень энергии структурного дефекта вакансии As, расположенного на  $0.15\text{--}0.18 \text{ eV}$  выше дна зоны проводимости). Во всех исследованных образцах при давлении  $P \approx 4.2 \text{ GPa}$  происходит скачкообразное убывание удельного электросопротивления, т.е. наблюдается структурный фазовый переход (рис. 1). После сброса давления за-



**Рис. 2.** Зависимость относительного объема исходной фазы  $C_1(P)$  в  $\text{CdSnAs}_2\langle\text{Cu}\rangle$  (образец 1)

висимость  $\rho(P)$  меняется слабо, т.е. имеет место необратимый фазовый переход. Рентгеноструктурные исследования показали, что наблюдаются, по крайней мере, 6 рефлексов. Таким образом, мы имеем необратимый фазовый переход, сопровождающийся разложением вещества.

Согласно модели гетерофазная структура-эффективная среда [7] рассчитана барическая зависимость относительного объема исходной фазы  $I$   $C_1 = V_1/V$  от давления (рис. 2), где  $V = V_1 + V_2$ ,  $V_1$  – объем исходной фазы  $I$ ,  $V_2$  – объем образующейся фазы  $II$ .

### Заключение

В заключение отметим, что на барических зависимостях  $\text{CdSnAs}_2$  выявлено три области  $\rho(P)$ . В  $\text{CdSnAs}_2\langle\text{Cu}\rangle$  (образцы 1–3): 1) область ( $P \leq 1.5$  GPa) роста сопротивления, в которой происходит убывание концентрации носителей; 2) область ( $P = 1.5$ –4 GPa) насыщения, которая объясняется вымораживанием электронов зоны проводимости в акцепторной зоне; 3) область фазового перехода. В  $\text{CdSnAs}_2$  (образцы 4, 5): 1) область слабой зависимости  $\rho(P)$ , обусловленная уменьшением подвижности носителей; 2) область более резкой зависимости  $\rho(P)$ , обусловленная наличием квазилокальных уровней в глубине зоны проводимости; 3) область фазового перехода. Во всех исследованных образцах при  $P = 4.2$  GPa наблюдается необратимый фазовый переход, сопровождающийся разложением вещества.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Грант № 02–02–17888.

1. М.И. Даунов, А.Б. Магомедов, В.И. Данилов, ФТП **25**, 467 (1991).
2. М.И. Даунов, А.Б. Магомедов, А.Э. Рамазанова, Изв. вузов. Физика № 8, 98 (1986).
3. Л.Г. Хвостанцев, С.В. Попова, Г.Н. Степанов, ДАН СССР **206**, 1342 (1972).
4. I.K. Kamilov, M.I. Daunov, A.B. Magomedov, A.Yu. Mollaev, S.M. Salikhov, L.A. Saypulaeva, High Pressure Research **10**, 437 (1992).
5. L.G. Khvostantsev, V.A. Sidorov, Phys. Status Solidi **A64**, 379 (1981).
6. А.Ю. Моллаев, Р.К. Арсланов, М.И. Даунов, А.Б. Магомедов, в сб.: Труды XVI научного семинара «Влияние высокого давления на вещество», ИПМ НАН Украины, Киев (1995), с. 146
7. М.И. Даунов, М.С. Буттаев, А.Б. Магомедов, СФХТ **5**, 73 (1992).

*A.Yu. Mollaev, R.K. Arslanov, M.I. Daunov, L.A. Saypulaeva*

TRANSFER PHENOMENA AND PHASE TRANSITIONS  
IN CdSnAs<sub>2</sub> AT HIGH PRESSURE

Hall coefficient and specific electroresistance have been investigated in monocrystalline samples of CdSnAs<sub>2</sub> at hydrostatic pressure up to 9 GPa. The measurements have been carried out on samples of two types: doped by copper and specially undoped ones at increase and decrease of pressure in the room-temperature range. The dynamics of changes in specific electroresistance and Hall effect change with pressure increase has been analyzed. Irreversible phase transition accompanied by the decomposition of the material has been revealed at  $P = 4.2$  GPa. The change of phase composition with pressure increase in the region of phase transition is calculated by the heterophase structure–effective medium model.

**Fig. 1.** Dependence of specific electroresistance of CdSnAs<sub>2</sub><Cu> (*a*) and CdSnAs<sub>2</sub> (*b*) on pressure. (In the Table, the curve numbers coincide with the numbers of samples)

**Fig. 2.** Dependence of the relative volume of initial phase  $C_1(P)$  in CdSnAs<sub>2</sub><Cu> (sample 1)