

PACS: 62.50.+p, 72.20.-i

А.Ю. Моллаев

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДОПИРОВАННЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ

Институт физики Дагестанского научного центра РАН
ул. Ярагского, 94, г. Махачкала, 367003, Россия
E-mail: a.mollaev@mail.ru

На базовых образцах $CdGeAs_2$, $CdGeP_2$ и высокотемпературных ферромагнитных полупроводниках $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$, $Cd_{1-x}Cr_xGeAs_2$ и $Cd_{1-x}Mn_xGeP_2$ в аппарате высокого давления типа «тороид» измерены барические (до 9 GPa) и температурные зависимости удельного электросопротивления ρ , коэффициента Холла R_H при 77–400 К.

1. Введение

Новым перспективным направлением твердотельной электроники становится спиновая электроника (спинтроника), где наряду с зарядом спин электрона представляет собой активный элемент для хранения и передачи информации, формирования интегральных и функциональных микросхем, конструирования новых магнитооптоэлектронных приборов. Использование в устройствах спинтроники как ферромагнитных, так и полупроводниковых свойств материала, т.е. спина и заряда его электронов, выдвигает на первый план задачу поиска, синтеза и исследования новых высокотемпературных ферромагнитных полупроводников с высокоподвижными поляризованными носителями тока. В данный момент указанным требованиям отвечают алмазоподобные полупроводниковые соединения группы $A^{II}B^{IV}C^V_2$. Характерными свойствами для этой группы тройных полупроводников являются высокие подвижности носителей заряда, малые эффективные массы электронов и большие отношения подвижности электронов к подвижности дырок. Контролируемое введение атомов переходных элементов (Mn, Fe, Cr и др.) в кристаллическую решетку позволяет обеспечить переход этих полупроводников в ферромагнитное состояние с достаточно высокой точкой Кюри T_C . Впервые высокотемпературный ферромагнитный полупроводник с температурой $T_C = 320$ К в виде тонкой пленки был изготовлен из $CdGeP_2$, легиро-

ванного Mn [1]. На тонкопленочных образцах трудно провести анализ состава по глубине слоя, получить надежные электромагнитные характеристики, что вызвало сомнения в достоверности обнаруженных результатов. Поэтому представляло интерес изготовить объемные образцы CdGeP_2 с различным содержанием Mn и провести исследование их электрофизических свойств. В ИОНХ РАН были получены поликристаллы диарсенида и фосфида кадмия, легированные марганцем, основные характеристики которых представлены в таблице.

Таблица

Электрофизические параметры исследованных образцов *p*-типа при комнатной температуре и атмосферном давлении

№ п/п	Образцы	x	ρ , $\Omega \cdot \text{cm}$	R_H , cm^3/C
1	CdGeAs_2	0.00	2.16	964.5
2	$\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$	0.003	3.0	504
3		0.053	1.68	142
4		0.06	10	2250
5		0.18	0.23	10
6		0.30	0.62	5
7		0.36	0.12	0.5
8		CdGeP_2	0.00	27.5
9	$\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeP}_2$	0.09	3.02	20
10		0.19	0.72	3

Примечание. x – содержание марганца, ρ – удельное электросопротивление, R_H – сопротивление Холла.

2. Методика и техника эксперимента

Измерения проводили на моно- и поликристаллических образцах $p\text{-Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$ и $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeP}_2$ в аппаратах высокого давления типа «тороид» при гидростатических давлениях до $P \leq 9$ GPa в области комнатных температур при подъеме и сбросе давления. Аппарат «тороид» помещался в соленоид с напряженностью $H \leq 5$ кОе. В качестве рабочей ячейки использовали фторопластовую капсулу полезным объемом $\sim 80 \text{ mm}^3$, которая имела 8 электровыводов, что позволяло одновременно измерить два кинетических эффекта и давление. Давление контролировали по манганиновому манометру, отградуированному по нескольким реперным точкам во всем диапазоне давлений. Образцы имели форму параллелепипеда с размерами $3 \times 1 \times 1 \text{ mm}$, однородность образцов контролировали по значениям удельного электросопротивления и коэффициента Холла четырехзондовым методом. Более подробно методика и техника эксперимента описаны в работах [2,3]. Основные электрофизические характеристики изученных образцов представлены в таблице.

3. Результаты измерений и обсуждения

Барические зависимости удельного электросопротивления ρ и коэффициента Холла R_H для всех исследованных образцов $p\text{-Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$ представлены на рис. 1. Во всех образцах № 1, 4, 7 при давлениях $P = 5.9; 5.7; 5.5; 5.4; 5.2; 4.9; 4.8$ ГПа на зависимостях $\rho(P)$ и $R_H(P)$ обнаружены структурные фазовые переходы при подъеме давления. При давлениях $P = 2.9; 2.8; 2.7; 2.6; 2.5; 2.4; 2.3$ ГПа эти переходы обнаружены и при сбросе давления. Из рис. 2 видно, что точка фазового перехода при подъеме давления

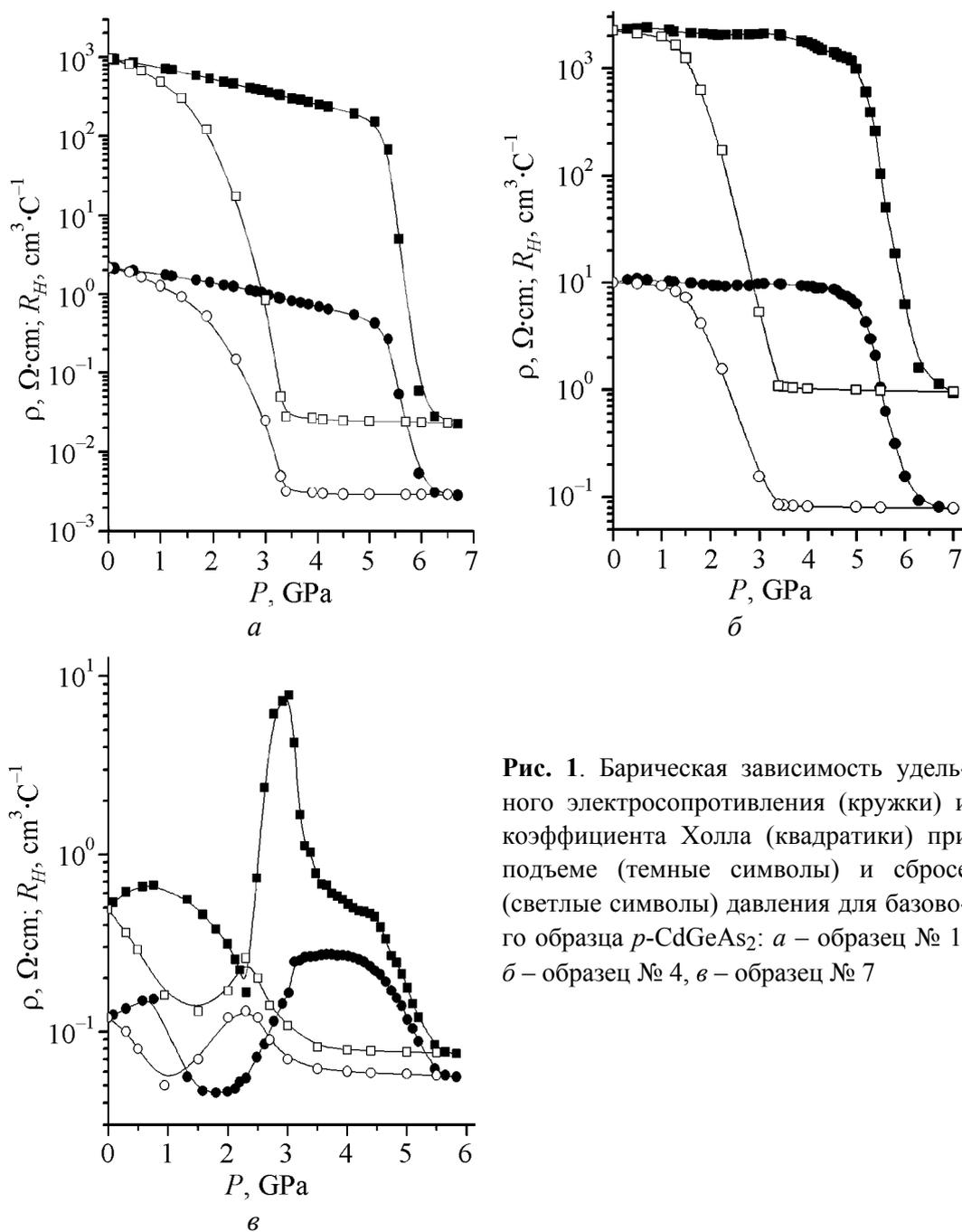


Рис. 1. Барическая зависимость удельного электросопротивления (кружки) и коэффициента Холла (квадратики) при подъеме (темные символы) и сбросе (светлые символы) давления для базового образца $p\text{-CdGeAs}_2$: а – образец № 1, б – образец № 4, в – образец № 7

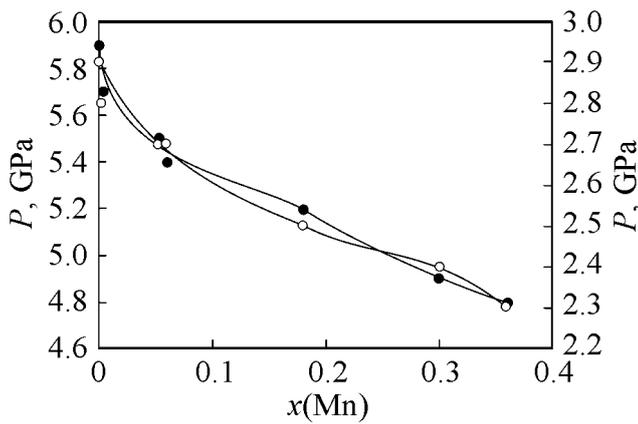


Рис. 2. Зависимость положения точки фазового перехода для образца $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$ от процентного содержания легирующего элемента (Mn) при подъеме давления (левая шкала, темные символы) и при его сбросе (правая шкала, светлые символы)

сдвигается в сторону низких давлений с увеличением процентного содержания марганца. Аналогичная картина наблюдается для точек фазового перехода при сбросе давления. Отношение давлений точки фазового перехода при подъеме давления к точке фазового перехода при сбросе давления составляет $P_{ФП}/P'_{ФП} = 2-2.1$, т.е. разница сравнима с ошибкой эксперимента.

На рис. 1,а представлены барические зависимости удельного сопротивления и коэффициента Холла для базового образца $CdGeAs_2$. Из рисунка видно, что удельное сопротивление до давлений $P = 5.3$ GPa при подъеме давления медленно уменьшается и при давлении $P \geq 5.3$ GPa резко падает почти на три порядка, начинается фазовый переход, а при давлении $P > 6.5$ GPa выходит на насыщение. Отношение удельного электросопротивления при атмосферном давлении к удельному сопротивлению в области насыщения $\rho_0/\rho_{sat} = 763$. В области насыщения удельная электропроводность $\sigma = 353 \Omega^{-1} \cdot cm^{-1}$, что превышает теоретически рассчитанные значения минимальной проводимости, которая составляет $\sigma = 200 \Omega^{-1} \cdot cm^{-1}$ [4]. Это позволяет утверждать, что имеет место металлическая проводимость. При сбросе давления наблюдается гистерезис, и при давлении $P = 2.9$ GPa происходит фазовый переход. Значение удельного электросопротивления при атмосферном давлении и при сбросе давления до $P = 0$ идентичны, т.е. $\rho_0 = \rho'_0$.

Коэффициент Холла при подъеме давления до давлений $P = 5.1$ GPa также медленно уменьшается, затем при давлении $P = 5.1$ GPa падает скачком почти на 5 порядков и при $P > 6.5$ GPa выходит на насыщение. В области насыщения концентрация носителей заряда $p \approx 2.8 \cdot 10^{20} cm^{-3}$, что еще раз указывает на металлический характер проводимости в области насыщения. При сбросе давления наблюдается значительный гистерезис, и при $P = 2.9$ GPa происходит фазовый переход, причем $R_{H_0} = R'_{H_0}$. Из вышеизложенного следует, что на базовом образце $p-CdGeAs_2$ наблюдается обратимый структурный фазовый переход полупроводник–металл.

Рассмотрим барическую зависимость удельного электросопротивления на образце $Cd_{0.94}Mn_{0.06}GeAs_2$ (рис. 1,б). При подъеме давления удельное сопротивление до давлений $P = 4.7$ GPa меняется очень слабо, затем при $P =$

= 4.7 GPa резко падает на 2 порядка и при $P = 6.1$ GPa фазовый переход заканчивается: $\rho_0/\rho_{\text{sat}} = 12$, $\sigma_{\text{sat}} = 12.3 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, $\rho_0 = \rho'_0$. При сбросе давления на кривой $\rho(P)$, как и при $P_{\text{ФП}} = 2.7$ GPa, также наблюдается фазовый переход.

Зависимость коэффициента Холла от давления аналогична. В области фазового перехода величина R_H падает на 3 порядка. Концентрация носителей в области насыщения $p \approx 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $R_{H_0} = R'_{H_0}$. Таким образом, по значениям удельной электропроводности и коэффициента Холла до и после фазового перехода можно заключить, что в образце $p\text{-Cd}_{0.94}\text{Mn}_{0.06}\text{GeAs}_2$ имеет место обратимый структурный переход полупроводник–полупроводник.

Теперь рассмотрим образец $p\text{-Cd}_{0.64}\text{Mn}_{0.36}\text{GeAs}_2$ (рис. 1,б). Удельное электросопротивление до давлений $P \approx 0.8$ GPa слабо растет, затем падает и при $P \approx 2$ GPa достигает минимума, затем при $P \approx 3$ GPa выходит на насыщение и при $P \approx 4.1$ GPa падает, начинается фазовый переход. При $P \approx 5.6$ GPa фазовый переход заканчивается. Удельное электросопротивление выходит на насыщение. В области насыщения удельная электропроводность $\sigma \approx 17.8 \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, $\rho_0 = \rho'_0$. Зависимость коэффициента Холла от давления также носит сложный характер. До $P \approx 0.8$ GPa его величина почти не меняется, затем растет до $P = 1.6$ GPa и достигает максимума, затем падает при $P \approx 2.3$ GPa, затем вновь растет, при $P \approx 3$ GPa достигает максимума и при $P = 5.6$ GPa выходит на насыщение. В области насыщения концентрация носителей заряда $p \approx 8 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, т.е. достигается металлическая проводимость. Таким образом, можно считать, что в

$p\text{-Cd}_{0.64}\text{Mn}_{0.36}\text{GeAs}_2$ наблюдается переход полупроводник–металл. Наблюдаемые аномалии на кривых $\rho(P)$ и $R_H(P)$ можно, по всей вероятности, объяснить магнитными свойствами образцов или наличием примесных центров.

На рис. 3 представлены температурные зависимости ρ и R_H в диапазоне температур 77–400 К для образца № 6.

На зависимостях $\rho(T)$ и $R_H(T)$ при $T_C^{\rho} \approx 272 \pm 1$ К и $T_C^{R_H} \approx 262 \pm 1$ К соответственно обнаружены аномалии в виде изломов, которые могут быть интерпретированы как магнитный фазовый переход из ферро- в парамагнитное состояние. Полученные результаты удовлетворительно согласуются с данными работы [5]. Температурная зависимость удельного электросопротивления в парамагнитном состоянии с хорошей точностью описывается акти-

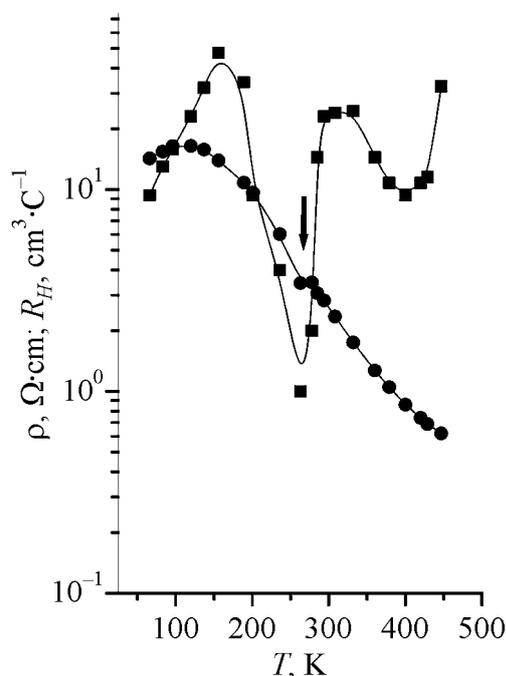


Рис. 3. Температурные зависимости удельного сопротивления ρ (—●—) и коэффициента Холла R_H (—■—), измеренные для $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$

вационным законом $\rho(T) \sim \exp(E_g/k_B T)$ с энергией активации $E_a = 155$ meV. При этом рост удельного электросопротивления, наблюдаемый в низкотемпературной многоупорядоченной фазе ($T < T_C$) (рис. 3), указывает на полупроводниковый характер основного состояния образца $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$.

На рис. 4 представлены результаты измерения удельного электросопротивления и коэффициента Холла для базового образца № 8 CdGeP_2 (а), для образцов № 9 $\text{Cd}_{0.91}\text{Mn}_{0.09}\text{GeP}_2$ (б) и № 10 $\text{Cd}_{0.81}\text{Mn}_{0.19}\text{GeP}_2$ (в).

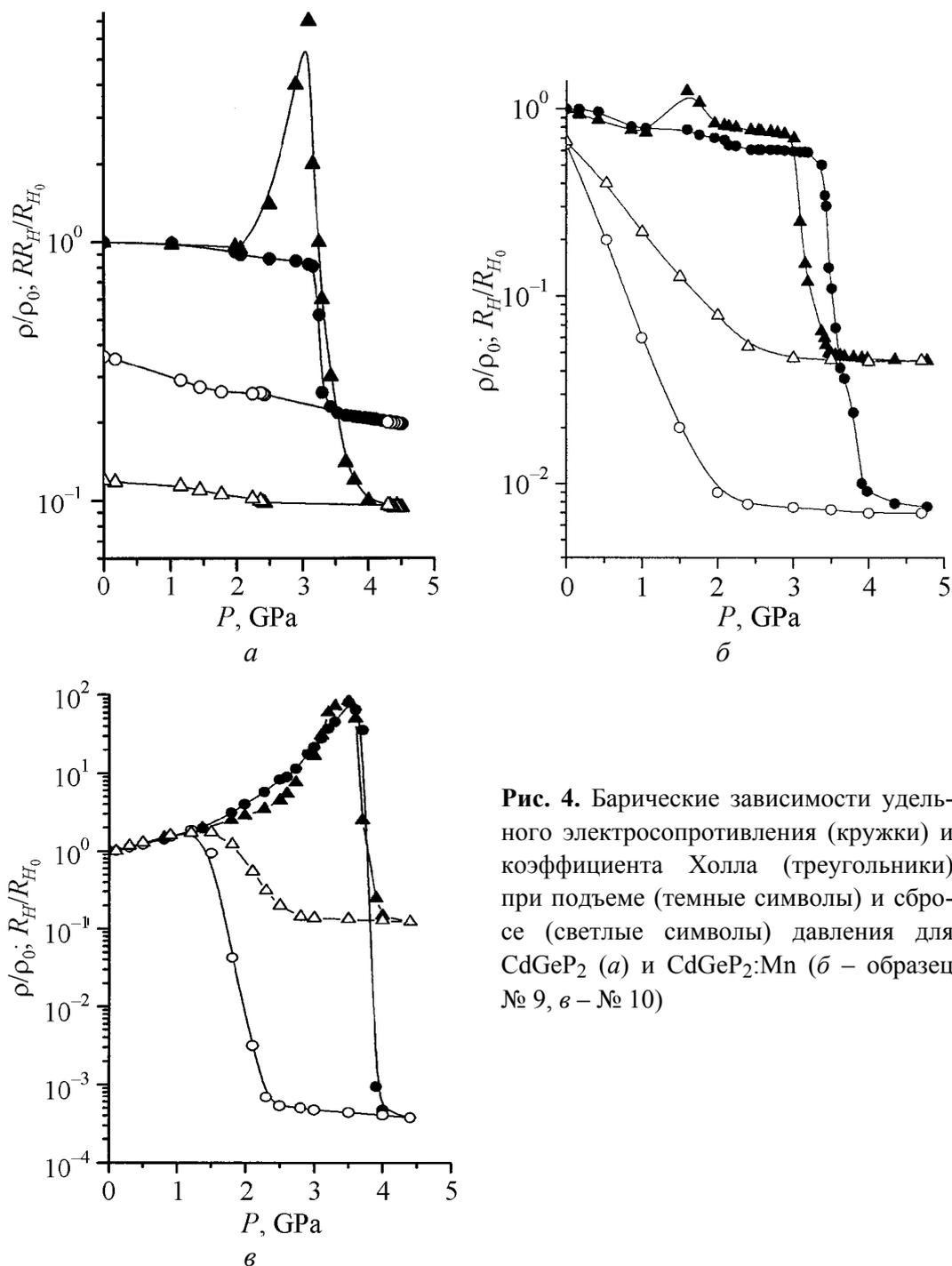


Рис. 4. Барические зависимости удельного электросопротивления (кружки) и коэффициента Холла (треугольники) при подъеме (темные символы) и сбросе (светлые символы) давления для CdGeP_2 (а) и $\text{CdGeP}_2:\text{Mn}$ (б – образец № 9, в – № 10)

Из рис. 4,а видно, что в образце № 8 удельное электросопротивление очень медленно снижается с ростом давления и при $P = 3.2$ GPa значение ρ резко падает почти на порядок, наступает фазовый переход. При давлении $P \geq 4$ GPa кривая $\rho(P)$ выходит на насыщение, фазовый переход заканчивается. То, что $\rho(P)$ до фазового перехода растет слабо, вероятно, можно объяснить тем, что с ростом давления происходит взаимокompенсация изменения концентрации и подвижности носителей заряда. Прямая линия при декомпрессии указывает на то, что происходит разложение CdGeP_2 на $\text{Cd}_3\text{P}_2 + \text{GeP} + \text{P}$, как в работе [6]. В области насыщения электропроводность $\sigma = 43 \text{ } \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, что характерно для вырожденных полупроводников. Коэффициент Холла до давлений $P \approx 2$ GPa не меняется и при $P > 2$ GPa резко (в 7 раз) возрастает, при $P \approx 3$ GPa наступает фазовый переход, затем R_H падает приблизительно в 70 раз, и при $P > 4$ GPa кривая $\rho(P)$ выходит на насыщение, концентрация носителей составляет $\sim 1.5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Такие значения электропроводности $\sigma = 43 \text{ } \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ и концентрации носителей $p = 1.5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ позволяют утверждать, что в CdGeP_2 имеет место фазовый переход полупроводник–полупроводник.

В образце № 9 (рис. 4,б) удельная электропроводность слабо понижается до давлений $P \approx 3.3$ GPa, при давлении $P \approx 3.3$ GPa резко (почти на 2 порядка) падает, начинается фазовый переход, и при $P > 3.5$ GPa кривая выходит на насыщение. Электропроводность в области насыщения $\sigma = 290 \text{ } \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$. Коэффициент Холла при давлениях до $P < 3.5$ GPa также резко (больше чем на порядок) падает, начинается фазовый переход. При $P \approx 4$ GPa кривая $R_H(P)$ выходит на насыщение, в области насыщения $p = 6.2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Значения концентрации носителей $p = 6 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ и электропроводности $\sigma \approx 290 \text{ } \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ позволяют утверждать, что происходит фазовый переход полупроводник–металл.

В образце № 10 (рис. 4,в) удельная электропроводность и коэффициент Холла до давлений $P = 3.5$ GPa и $P = 3.4$ GPa возрастают с различными барическими коэффициентами, достигают максимума при $P = 3.5$ GPa и затем резко падают (удельное электросопротивление – почти на 6 порядков, а коэффициент Холла – на 2 порядка), наступает фазовый переход. При давлениях $P > 4$ GPa фазовый переход заканчивается, в области насыщения концентрация и подвижность носителей заряда составляют $\sim 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ и $\sim 500 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ соответственно, что характерно для вырожденного полупроводника. Таким образом, в образце № 10 происходит фазовый переход полупроводник–полупроводник.

Теперь рассмотрим обратный ход кривых $\rho(P)$ и $R_H(P)$ для образцов № 8–10. В образце № 8 он имеет вид прямой. По аналогии с результатами, полученными в [6], можно сделать вывод о том, что при приложении давления в CdGeP_2 происходит необратимый фазовый переход с разложением вещества на составляющие.

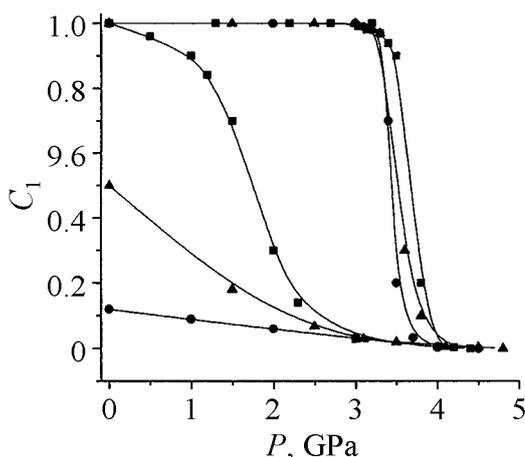


Рис. 5. Зависимость объемной доли исходной фазы C_1 от давления для $Cd_{1-x}Mn_xGeP_2$ при подъеме и сбросе давления: ● – образец № 8, ▲ – образец № 9, ■ – образец № 10

Динамика исходной фазы C_1 с изменением давления рассчитана на основе модели гетерофазная система–эффективная среда [7,8]. Из рис. 5 видно, что исходная фаза C_1 в образце № 8 восстанавливается на 10%, в образце № 9 – на 50% и в образце № 10 – полностью, т.е. процесс является обратимым. Полученные результаты подтверждаются данными рентгенофазового анализа, проведенного на образцах после снятия давления. На дифрактограмме образца $CdGeP_2$ наблюдаются пики, соответствующие CdP_2 и Ge – барическое разложение полное. На дифрактограмме образца $Cd_{0.91}Mn_{0.09}GeP_2$ кроме пиков, относящихся к фазам CdP_2 и Ge, наблюдаются пики $CdGeP_2$ – разложение частичное. На дифрактограмме образца $Cd_{0.81}Mn_{0.19}GeP_2$ наблюдаются только пики, соответствующие $CdGeP_2$, – барическое разложение отсутствует. Таким образом, увеличение содержания марганца усиливает барическую устойчивость образца $CdGeP_2$.

Результаты измерений температурных зависимостей ρ и R_H для образцов $CdGeP_2$ и $Cd_{0.91}Mn_{0.09}GeP_2$ p -типа

Из хода кривых $\rho(P)$ и $R_H(P)$ для образца № 9 видно, что при сбросе давления имеет место фазовый переход при $P = 2.3$ GPa. Однако, поскольку значения $\rho(P)$ и $R_H(P)$ до приложения и после снятия давления несколько разнятся, мы делаем вывод, что имеет место необратимый фазовый переход с частичным разложением вещества.

В образце № 10 значения $\rho(P)$ и $R_H(P)$ до и после приложения давления совпадают, т.е. имеет место обратимый структурный фазовый переход. При декомпрессии при $P = 2.3$ GPa наблюдается четкий структурный фазовый переход.

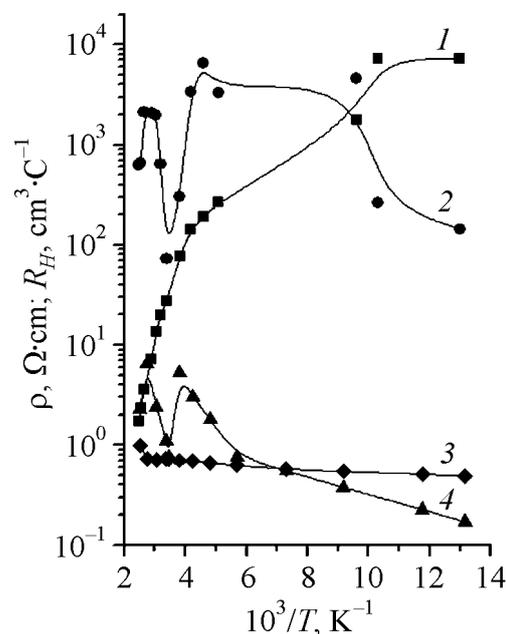


Рис. 6. Температурные зависимости удельного сопротивления ρ (кривая 1 – образец № 8, кривая 3 – образец № 9) и коэффициента Холла R_H (кривая 2 – образец № 8, кривая 4 – образец № 9)

представлены на рис. 6. Как видим, для образца CdGeP_2 значение удельного сопротивления ρ резко увеличивается с понижением температуры, причем $\lg \rho$ пропорционален $1/T$, что типично для случая достаточно сильной компенсации. В образце $\text{Cd}_{0.91}\text{Mn}_{0.09}\text{GeP}_2$ с более высоким значением концентрации дырок при комнатной температуре удельное сопротивление уменьшается по абсолютной величине и при этом достаточно слабо зависит от температуры. Коэффициент Холла в области низких ($T \geq 160$ К) температур начинает уменьшаться, что свидетельствует об участии в проводимости акцепторных уровней с энергией ионизации $E_a \leq 0.02$ eV. Из температурных зависимостей ρ и R_H следует, что образцы CdGeP_2 и $\text{Cd}_{0.91}\text{Mn}_{0.09}\text{GeP}_2$ в исследованном интервале температур обнаруживают примесную проводимость. Ход кривой $R_H(T)$ может быть интерпретирован с помощью простой модели с одним сортом носителей заряда.

4. Заключение

В заключение следует отметить, что исследованные образцы $\text{CdGeAs}_2:\text{Mn}$ условно можно разбить на 3 группы: 1) базовый образец № 1 CdGeAs_2 и слаболегированный образец № 2 $p\text{-Cd}_{0.897}\text{Mn}_{0.003}\text{GeAs}_2$; 2) образцы № 3 $\text{Cd}_{0.947}\text{Mn}_{0.053}\text{GeAs}_2$ и № 4 $\text{Cd}_{0.94}\text{Mn}_{0.06}\text{GeAs}_2$, на которых не обнаружены аномалии на барических зависимостях коэффициента Холла; 3) образцы, на которых наблюдаются аномалии на кривой зависимости $R_H(P)$, — $\text{Cd}_{0.82}\text{Mn}_{0.18}\text{GeAs}_2$ и $\text{Cd}_{0.64}\text{Mn}_{0.36}\text{GeAs}_2$. Особняком стоит образец $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$, в котором, несмотря на достаточно высокую степень легирования, никаких аномалий на барической зависимости коэффициента Холла мы не обнаружили. На всех образцах наблюдаются структурные обратимые фазовые переходы, положение которых сдвигается в сторону низких давлений с увеличением процентного содержания легирующего элемента марганца. В какую модификацию переходит халькопирит при фазовом переходе, без рентгеноструктурных исследований под давлением мы сказать не можем.

В образцах CdGeP_2 и $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeP}_2$ имеет место структурный фазовый переход, который также сдвигается в сторону высоких давлений с увеличением процентного содержания марганца. Определена энергия ионизации мелкого акцепторного уровня $E_a \sim 0.02$ eV при атмосферном давлении, которая хорошо согласуется с литературными данными.

Исследованные образцы $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$ и $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeP}_2$ могут быть использованы в качестве датчиков давления в диапазоне $P = 3.2\text{--}5.9$ GPa.

Работа выполнена при финансовой поддержке подпрограммы № 3 «Физика и механика сильно сжатого вещества и проблемы внутреннего строения Земли и планет» Программы Президиума РАН П-09 «Исследование вещества в экстремальных условиях».

1. Г.А. Медведкин, Т. Ишибаши, Т. Ниши, К. Сато, ФТП **35**, 305 (2001).
2. А.Ю. Моллаев, Л.А. Сайпулаева, Р.К. Арсланов, С.Ф. Маренкин, Неорган. материалы **37**, 403 (2001).
3. А.Ю. Моллаев, Р.К. Арсланов, М.И. Даунов, Л.А. Сайпулаева, ФТВД **13**, № 1, 29 (2003).
4. Н. Мотт, Э. Дэвис, Электронные процессы в некристаллических веществах, Т.1, Мир, Москва (1982).
5. Р.В. Демин, Л.И. Королева, С.Ф. Маренкин, В.М. Новоторцев, В.Т. Калинин, Т.Г. Аминов, Письма ЖТФ **30**, в. 21, 81 (2004).
6. А.Ю. Mollaev, I.K. Kamilov, M.I. Daunov, R.K. Arslanov, A.B. Magomedov, L.A. Saipulaeva, S.F. Gabibov, High Pressure Research **26**, 445 (2006).
7. М.И. Даунов, М.С. Буттаев, А.Б. Магомедов, Сверхпроводимость: физика, химия, техника **5**, 73 (1992).
8. М.И. Даунов, А.Б. Магомедов, А.Ю. Моллаев, С.М. Салихов, Л.А. Сайпулаева, Сверхтвердые материалы № 3, 3 (1992).

А.Ю. Моллаев

КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОПІЙОВАНИХ ФЕРОМАГНІТНИХ НАПІВПРОВІДНИКІВ ПРИ ВИСОКОМУ ТИСКУ

На базових зразках CdGeAs_2 , CdGeP_2 і високотемпературних ферромагнітних напівпровідниках $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$, $\text{Cd}_{1-x}\text{Cr}_x\text{GeAs}_2$ і $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeP}_2$ в апараті високого тиску типу «тороїд» зміряно баричні (до 9 GPa) і температурні залежності питомого електроопору ρ , коефіцієнта Хола R_H при 77–400 К.

А.Ю. Mollaev

COMPLEX STUDY OF DOPED FERROMAGNETIC SEMICONDUCTORS UNDER HIGH PRESSURE

Baric (up to 9 GPa) and temperature dependences of resistivity ρ , Hall coefficient R_H in the 77–400 K temperature range have been measured on base samples CdGeAs_2 , CdGeP_2 and high-temperature ferromagnetic semiconductors $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$, $\text{Cd}_{1-x}\text{Cr}_x\text{GeAs}_2$ and $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeP}_2$ in a high-pressure device of «thoroid» type.

Fig. 1. Baric dependence of resistivity (circles) and Hall coefficient (squares) at rise (dark symbols) and fall (light symbols) of pressure for the base sample $p\text{-CdGeAs}_2$: *a* – sample № 1, *b* – sample № 4, *c* – sample № 7)

Fig. 2. The dependence of phase transition point location on concentration of doping element (Mn) for $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{GeAs}_2$ sample at pressure rise (left scale, dark symbols) and fall (right scale, light symbols)

Fig. 3. Temperature dependences of resistivity ρ (—●—) and Hall coefficient R_H (—■—) measured for $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$

Fig. 4. Baric dependences of resistivity (circles) and Hall coefficient (triangles) at pressure rise (dark symbols) and fall (light symbols) for CdGeP₂ (*a*) and for CdGeP₂:Mn (*b* – sample № 9, *c* – № 10)

Fig. 5. Dependence of a volume share of initial phase C_1 on pressure for Cd_{1-x}Mn_xGeP₂ at rise and fall of pressure: ● – sample № 8, ▲ – sample № 9, ■ – sample № 10

Fig. 6. Temperature dependences of resistivity ρ (curve 1 – sample № 8, curve 3 – sample № 9) and Hall coefficient R_H (curve 2 – sample № 8, curve 4 – sample № 9)