



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

7 - 9
Iyun
June 2005
Июнь

səhifə
page 105-108
стр.

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В НОВОМ ФЕРРОМАГНЕТИКЕ $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$

**МОЛЛАЕВ А.Ю.¹, КАМИЛОВ И.К.¹, АРСЛАНОВ Р.К.¹, ЗАЛИБЕКОВ У.З.¹,
МАРЕНКИН С.Ф.², НОВОТОРЦЕВ С.М.², МИХАЙЛОВ С.Г.²**

¹*Институт физики Дагестанского Научного центра РАН
367003, Россия, Махачкала, ул.М.Ярагского,94
E-mail: a.mollaev@mail.ru*

²*Институт общей и неорганической химии РАН им. Курнакова,
Россия, Москва*

Измерены барические зависимости удельного электросопротивления и коэффициента Холла при гидростатическом давлении на новых магнитных полупроводниках $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$ с различным содержанием марганца ($x=0.06$ и 0.18). На барических зависимостях удельного электросопротивления ρ и коэффициента Холла $R_H(P)$ обнаружены структурные фазовые переходы. В области комнатных температур по барическим зависимостям $\rho(P)$ и $R_H(P)$ определены характеристические точки и параметры фазового превращения, а также рассчитана динамика изменения фазового состава от давления.

1. ВВЕДЕНИЕ

В связи с обнаружением высокотемпературного ферромагнетизма в полупроводниковых соединениях с алмазоподобной структурой, магнитные полупроводники стали объектом повышенного внимания. Как следует из литературных данных [1-3] возникновение высокотемпературного ферромагнитного состояния в этих полупроводниках легированных марганцем обусловлено двумя факторами: увеличением концентрации магнитных примесных атомов и ростом концентрации свободных носителей тока – дырок (марганец является акцептором). Так как эти соединения обладают полупроводниковыми и магнитными свойствами, что делает перспективным материалом для применения в спинтронике. В ИОНХ РАН было получено многокомпонентное соединение $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$ с температурой Кюри 355 К. [4]. По данным рентгенофазового анализа все образцы имели структуру и являлись однофазными [4]. Измерение намагнитченности производились СКВИД-магнитометром и электросопротивления – четырехзондовым методом. Парамагнитная (ПМ) восприимчивость была измерена весовым методом с электромагнитной компенсацией. Температуры Кюри T_c образцов, определенные как температуры максимумов на кривых $(dM/dT(T))$, где M – намагнитченность. Из эксперимента следует, что $T_c > 300$ К, и для составов с 3 и 6 масс %Mn достигают 355 К. Это самая высокая температура

Кюри в системах $A^nV^mC^v_2Mn$. Так как характер легирования и наличие свободных носителей заряда определяют магнитные свойства этих материалов, представлялось интересным изучить их транспортных свойств при высоком давлении.

2. МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА.

Было измерено 2 образца $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$: $x=0.06$ (образец №1, монокристалл), и образец №2 с $x=0.18$, поликристалл. Параметры измеренных образцов сведены в таблицу №1. Измерения проводились в аппаратах высокого давления типа наковальня с лункой с тороидальной поддержкой при гидростатическом давлении до 9 ГПа, при подъеме и сбросе давления [5]. Аппарат высокого давления помещается в соленоид с напряженностью магнитного поля $H < 5$ кЭ [6]. Образцы имели форму параллелепипеда размерами $2.7 \times 1 \times 1$ мм. В качестве среды передающей давление использовалась смесь метанола-этанола в соотношении 4:1, которая обеспечивала гидростатичность до 10 ГПа [7]

Таблица 1

Образцы	x	R_H , cm^3C^{-1}	ρ , $\Omega \cdot cm$
$p-Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$	0.06	2250	10
$p-Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$	0.18	10	0.23

3. ОБСУЖДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ.

На рисунках 1-3 представлены экспериментальные результаты исследования барических зависимостей удельного электросопротивления ρ и коэффициента Холла R_H для образцов №1 и №2.

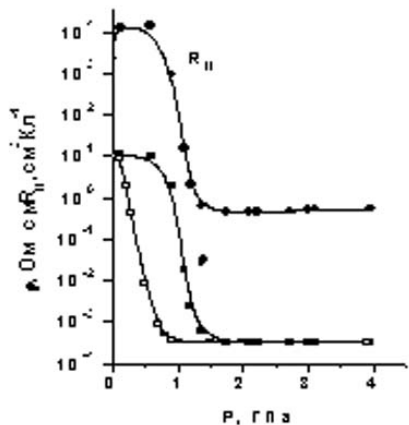


Рис.1. Барические зависимости удельного электросопротивления и коэффициента Холла для $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$ (образец №1).

Из барических зависимостей удельного электросопротивления $\rho(P)$ при подъеме давления (рис.1, черные точки) меняется слабо до давления $P \leq 0.9$ GPa, что обусловлено тем, что слабый рост концентрации носителей заряда компенсируется падением их подвижности. При давлении $P = 0.9 \pm 0.1$ GPa удельное сопротивление резко падает почти на 5 порядков – начинается фазовый переход, при давлении $P > 1.6$ GPa кривая $\rho(P)$ выходит на насыщение, фазовый переход заканчивается.

В области насыщения $\rho(P)$ при $P > 1.6$ GPa величина удельной электропроводности $\sigma \approx 3000 \Omega^{-1}cm^{-1}$ значительно превышает теоретически рассчитанные значения минимальной металлической проводимости [8], которая по разным оценкам составляет от 200 до $1000 \Omega^{-1}cm^{-1}$, что позволяет утверждать, что в конце фазового перехода имеет место металлическая проводимость. При сбросе давления (кривая 1, светлые точки) зависимость $\rho(P)$ испытывает гистерезис и при $P = 0.6 \pm 0.05$ GPa наблюдается фазовый переход.

Аналогичный сценарий наблюдается и на барической зависимости коэффициента Холла (рис.1). После фазового перехода в области насыщения при $P > 1.6$ GPa концентрация носителей составляет $\approx 10^{20} cm^{-3}$, что еще раз подтверждает наличие металлической проводимости.

Наличие гистерезиса на барических зависимостях $\rho(P)$ и $R_H(P)$ и тот факт, что величины удельного электросопротивления и коэффициента Холла при атмосферном давлении совпадают со значениями удельного электросопротивления и коэффициента Холла после снятия давления, позволят сделать вывод, что в $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$ ($x=0.06$) обнаружен

обратимый структурный фазовый переход полупроводник–металл.

В образце №2 при подъеме давления (рис.2, черные точки) барическая зависимость удельного сопротивления $\rho(P)$ до давлений $P \leq 4.5$ GPa меняется слабо, что обусловлено взаимной компенсацией изменения концентрации и подвижности носителей заряда. При $P = 4.5 \pm 0.2$ GPa $\rho(P)$ резко падает почти на три порядка и при $P > 6.5$ GPa выходит на насыщение, наступает металлизация, $\sigma \approx 2850 \Omega^{-1}cm^{-1}$. При сбросе давления (светлые точки) наблюдается значительный гистерезис и при $P = 3.1 \pm 0.1$ GPa на кривой $\rho(P)$ имеет место фазовый переход.

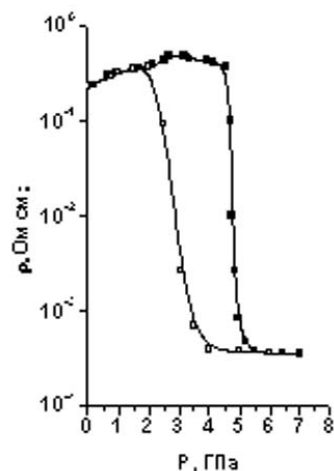


Рис.2. Барическая зависимость удельного электросопротивления $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$ (образец №2).

Барическая зависимость коэффициента Холла (рис.3) имеет более сложный характер. На ней можно выделить четыре области: 1 область – $P < 0.6$ GPa – коэффициент Холла растет с давлением – область примесной проводимости; 2 область – $P = 0.6 \div 1.9$ GPa – коэффициент Холла выходит на плато – область истощения носителей заряда; 3 область – $P = 1.9 \div 4.5$ GPa – область падения коэффициента Холла почти до нуля с последующим возрастанием, причина которого обсуждается и 4 область – $P = 4.5 \div 6.5$ GPa – область фазового превращения. В области насыщения $R_H(P)$ при $P > 6.5$ GPa концентрация носителей заряда $n \approx 5 \cdot 10^{20} cm^{-3}$.

Проанализировав поведение барических зависимостей $\rho(P)$ и $R_H(P)$ для образца №2 можно по аналогии с образцом №1 сделать вывод, что в $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$ ($x=0.18$) так же имеет место обратимый структурный фазовый переход полупроводник–металл. Сравнение данных [9] и результатов, полученных нами ранее в n- и p-InAs и CdTe [6,10,11] с известными данными по рентгеноструктурным исследованиям фазовых переходов под давлением [12] свидетельствует о том, что наличие термодинамического гистерезиса, т.е. смещение начала фазового перехода P_b при подъеме давления относительно начала фазового перехода P_b' при сбросе давления (см. табл. №2), позволило сделать нам вывод о том, что при наличии

термодинамического гистерезиса в исследованных образцах имеет место структурный фазовый переход.

Рис.3а. Зависимость объемной доли исходной фазы C_1 от давления при подъеме и сбросе давления для $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$ (образец №1).

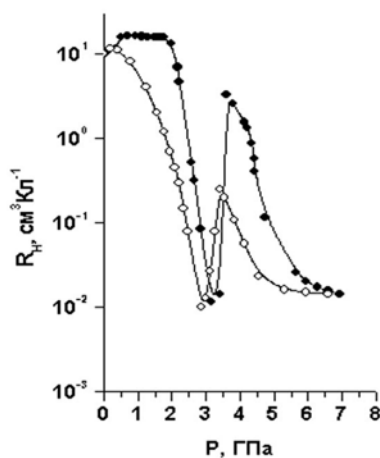


Рис.3. Барическая зависимость коэффициента Холла $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$ (образец №2).

На основе представлений о поведении гетерофазных структур под давлением в области фазового превращения [13-18], методологии изложенной в работе [19] и собственных экспериментальных данных определены характеристические точки и параметры фазового перехода: точки фазового равновесия P_0 , точки метастабильного равновесия P_{MP} , гистерезис термодинамический P_{GT} , гистерезис флуктуационный P_{GF} при подъеме и сбросе давления для всех исследованных образцов. Полученные результаты приведены в таблице 2 (подъем давления) и таблице 3 (сброс давления).

Таблица 2.

№	Образцы	x	P_b , GPa	P_e , GPa	P_o , GPa	P_{MP} , GPa	P_{GT} , GPa	P_{GF} , GPa
1	$p-Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$	0.06	0.9	1.6	0.75	1.25	0.8	0.7
2	$p-Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$	0.18	4.5	6.5	3.8	5.5	2.5	2.0

Таблица 3.

№	Образцы	x	P'_b , GPa	P'_e , GPa	P'_o , GPa	P'_{MP} , GPa	P'_{GT} , GPa	P'_{GF} , GPa
1	$p-Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$	0.06	0.6	0.1	0.75	0.35	0.8	0.5
2	$p-Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$	0.18	3.1	2.0	3.8	2.55	2.5	1.1

На основе модели гетерофазная структура эффективная среда [18] и теории протекания рассчитана динамика изменения объемной доли исходной фазы C_1 от давления. При $P_b-C_1=1$ и $C_2=0$, и при $P_e-C_1=0$ и $C_2=1$. Здесь C_1 и C_2 – относительные

объемы фаз $C_1=V_1/(V_1+V_2)$, $C_2=V_2/(V_1+V_2)$, $C_1+C_2=1$, где V_1 – объем исходной фазы, V_2 – объем образующейся фазы. На рис. 4 (а,б) представлена зависимость объемной доли исходной фазы C_1 от давления при подъеме и сбросе давления для образцов $p-Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$ с различным содержанием марганца.

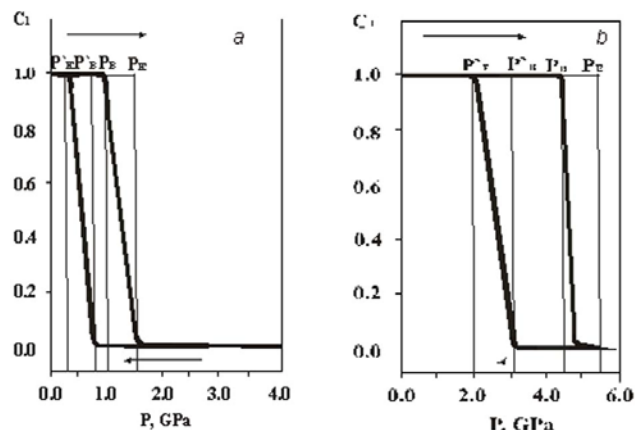


Рис.4 а) Зависимость объемной доли исходной фазы C_1 от давления при подъеме и сбросе давления для $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$ (образец №1). б) Зависимость объемной доли исходной фазы C_1 от давления при подъеме и сбросе давления для $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$ (образец №2).

4. ВЫВОДЫ.

В заключении отметим, что в магнитных полупроводниках $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$ ($x=0.06$ и $x=0.08$) и $Cd_{1-x}Cr_xGeAs_2$ ($x=0.01$) обнаружены структурные фазовые переходы, определены характеристические точки, параметры фазового превращения и рассчитана динамика изменения фазового состава с давлением.

На основе полученных экспериментальных результатов можно сделать вывод, что $p-Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$ является удобным материалом для создания резистивных полупроводниковых датчиков давления. Изменение процентного содержания марганца в $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$ позволяет регулировать положение точки фазового перехода (реперной точки) на шкале высоких давлений в довольно широких пределах, в нашем случае от $P=0.9\pm 0.1$ GPa до $P=4.5\pm 0.2$ GPa.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Проект №05-02-16608) и проекта РАН “Физика и механика сильно сжатого вещества и проблем внутреннего строения Земли и планет”

[1]. Медведкин Г.А., Ишибаши Т., Ниши Т., Сато К. // ФТП, 2001,35, 3, с.342 (2001).
 [2]. H.Ohno, F.Matsukura, Y.Ohno, JAP Intern. 5(2002) 4-13.
 [3]. T. Dietl, Semicond. Sci. Te-hnol. 17(2002) 377-392.

[4]. Р.В.Демин, Л.И.Королев, С.Ф.Маренкин, С.Т.Михайлов, Т.Г.Аминов, Г.Г.Шабунина, Р.Шимчак, М.Баран // Сб. тр. XIX Межд.школы-семинара, “Новые магнитные материалы микроэлектроники”, Москва, с.342 (2004).

- [5]. L.G.Khvostantsev, V.A.Sidorov, Phys. Status Solidi A64, 379 (1991).
- [6]. А.Ю.Моллаев, Р.К.Арсланов, Л.А. Сайпулаева, С.Ф.Габибов, С.Ф.Маренкин, ФТВД 11, №4,61 (2001).
- [7]. Pieramani G.I., Block I.D. Calibration of the Pressure Dependence the X Ruby Fluorescent Cline to 195 kBar // J.Appl.Phys. 1973. V. 44. № 12. P. 5377.
- [8]. Н.Мотт, Э.Дэвис, Электронные процессы в некристаллических веществах, Т.1, Мир, Москва (1982).
- [9]. Н.А.Николаев, Л.Г.Хвостанцев, В.Е.Зиновьев, А.А.Старостин, ЖЭТФ 91, №3(9), 1001 (1986).
- [10]. А.Ю.Моллаев, И.К.Камилов, Р.К.Арсланов, С.Ф.Габибов, ФТВД 12, №4, 25 (2002).
- [11]. А.Ю.Моллаев, Л.А.Сайпулаева, Ю.М.Иванов, ФТВД 13, №1, 43 (2003).
- [12]. Е.Ю.Тонков, Фазовые превращения соединений при высоком давлении. М.: Металлургия, 1988.
- [13]. А.Л.Ройтбурд, УФН 113, 69 (1974).
- [14]. А.Л.Ройтбурд, ФТТ 25, 33 (1983).
- [15]. А.Л.Ройтбурд, ФТТ 26, 2025 (1984).
- [16]. В.Н.Козлов, Г.Р.Умаров, А.А.Фирсанов, ФТВД вып. 23, 9 (1986).
- [17]. М.И.Даунов, А.Б.Магомедов, А.Ю.Моллаев, С.М.Салихов, Л.А.Сайпулаева, Сверхтвердые материалы №3,3 (1992).
- [18]. М.И.Даунов, М.С.Буттаев, А.Б.Магомедов, СФХТ 5, 73 (1992).
- [19]. А.Ю.Моллаев, Р.К.Арсланов, Р.И.Ахмедов, Л.А.Сайпулаева, ФТВД 4, № 3-4, 66 (1994).