

PACS: 62.50.-p, 71.18.+y, 71.20.Nr, 72.80.Ey

А.Ю. Моллаев¹, И.К. Камилов¹, Р.К. Арсланов¹, У.З. Залибеков¹,
Т.Р. Арсланов¹, В.М. Новоторцев², С.Ф. Маренкин²

БАРИЧЕСКИЕ, ТЕМПЕРАТУРНЫЕ И МАГНИТОПОЛЕВЫЕ ЗАВИСИМОСТИ КИНЕТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В ФЕРРОМАГНИТНОМ ПОЛУПРОВОДНИКЕ $Cd_{0.7}Mn_{0.3}GeAs_2$

¹Институт физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского научного центра РАН
ул. Ярагского, 94, г. Махачкала, 367003, Россия

²Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН
Ленинский пр-т, 31, г. Москва, 119991, Россия
E-mail: a.mollaev@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18 сентября 2008 года

Исследованы барические зависимости удельного электросопротивления ρ , коэффициента Холла R_H и поперечного магнитосопротивления $\Delta\rho_{xx}/\rho_0$ в магнитных полях $H \leq 5$ кОе при подъеме и сбросе давления в области комнатных температур. Получены температурные зависимости ρ и R_H при атмосферном давлении в диапазоне температур 77–450 К в ферромагнитном (ФМ) полупроводнике $Cd_{0.7}Mn_{0.3}GeAs_2$.

Ключевые слова: ферромагнитный полупроводник, давление, удельное электросопротивление, магнитное поле

1. Введение

Объемные магнитные полупроводники $Cd_{1-x}Mn_xGeAs_2$ с высокой температурой Кюри, полученные впервые в ИОНХ РАН, являются перспективными материалами для спинтроники [1]. По данным рентгенофазового анализа (РФА), все образцы имели структуру халькопирита и являлись структурно-однофазными. Как следует из экспериментальных результатов, приведенных в литературе [2,3], возникновение состояния высокотемпературного ферромагнетизма в полупроводниках $A^{II}B^VC^V_2$, легированных Mn, обусловлено двумя факторами: увеличением концентрации магнитных примесных атомов и ростом концентрации свободных носителей тока – дырок. При этом Mn является акцептором. Такое его поведение связывается с взаимодействием между локализованными магнитными моментами, что приводит к упорядочению в системе марганца (косвенный обмен). Поскольку характер легирования и наличие свободных носителей заряда определяют магнитные свойства таких материалов, можно, эффективно воздействуя давлением и температурой, изучать процессы, происходящие в высокотемпературных ФМ-материалах. Особый интерес представляет изучение эффектов

возникновения аномалий кинетических коэффициентов (колоссального магнито-сопротивления, аномального эффекта Холла и др.). Дальнейшие исследования в этом направлении представляются чрезвычайно перспективными.

2. Методика и техника эксперимента

В аппарате высокого давления типа «тороид» измерены барические зависимости удельного электросопротивления ρ , коэффициента Холла R_H и поперечного магнитосопротивления $\Delta\rho_{xx}/\rho_0$. Они получены в различных магнитных полях при подъеме и сбросе давления в области комнатных температур. Измерены также температурные зависимости ρ и R_H в ФМ-полупроводнике $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$ при атмосферном давлении в диапазоне температур 77–450 К. Подробно методика и техника эксперимента описаны в работах [4,5]. Синтез кристаллов проводили из высокочистых порошков CdAs_2 и Ge, приготовленных из монокристаллов. Марганец использовали марки «ч.д.а.». Согласно данным РФА образцы были однофазными и не содержали бинарных соединений марганца с мышьяком. Методика и технологические режимы выращивания монокристаллов представлены в [1]. Образцы имели форму параллелепипеда размерами $3 \times 1 \times 1$ mm, их однородность контролировали четырехзондовым методом по значениям удельного электросопротивления и коэффициента Холла. Знак носителей заряда, определенный по знаку диффузионной термоэдс при комнатной температуре, имеет p -тип проводимости.

3. Экспериментальные результаты и их обсуждение

Из рис. 1,а видно, что удельное сопротивление ρ возрастает больше чем на порядок и при $P \approx 4$ GPa достигает максимума, затем резко падает больше чем на 2 порядка. Коэффициент Холла возрастает с различными барическими коэффициентами до $P \approx 4$ GPa, затем резко падает почти на 3 порядка. В области насыщения при $P > 6$ GPa электропроводность $\sigma \approx 3000 \text{ } \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, а концентрация носителей заряда $\approx 6.25 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Таким образом, при $P = 4.9$ GPa имеет место обратимый структурный фазовый переход диэлектрик–металл. Фазовый переход наблюдается и при сбросе давления при $P \approx 2.4$ GPa.

На температурных зависимостях ρ и R_H при $T_c^P \approx 272 \pm 1$ К и $T_c^{RH} \approx 262 \pm 1$ К соответственно обнаружены аномалии в виде изломов, которые могут быть интерпретированы как магнитный фазовый переход из ферро- в антиферромагнитное состояние. Температурная зависимость удельного электросопротивления в парамагнитном состоянии с хорошей точностью описывается активационным законом $\rho(T) \sim \exp(E_a/k_B T)$ с энергией активации $E_a = 155$ meV. При этом рост удельного электросопротивления, наблюдаемый в низкотемпературной магнитоупорядоченной фазе ($T < T_c$) (рис. 1,б), указывает на полупроводниковый характер основного состояния образца $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$. В исследуемом образце в магнитном поле при приложении давления наблюдается магнитосопротивление (рис. 2).

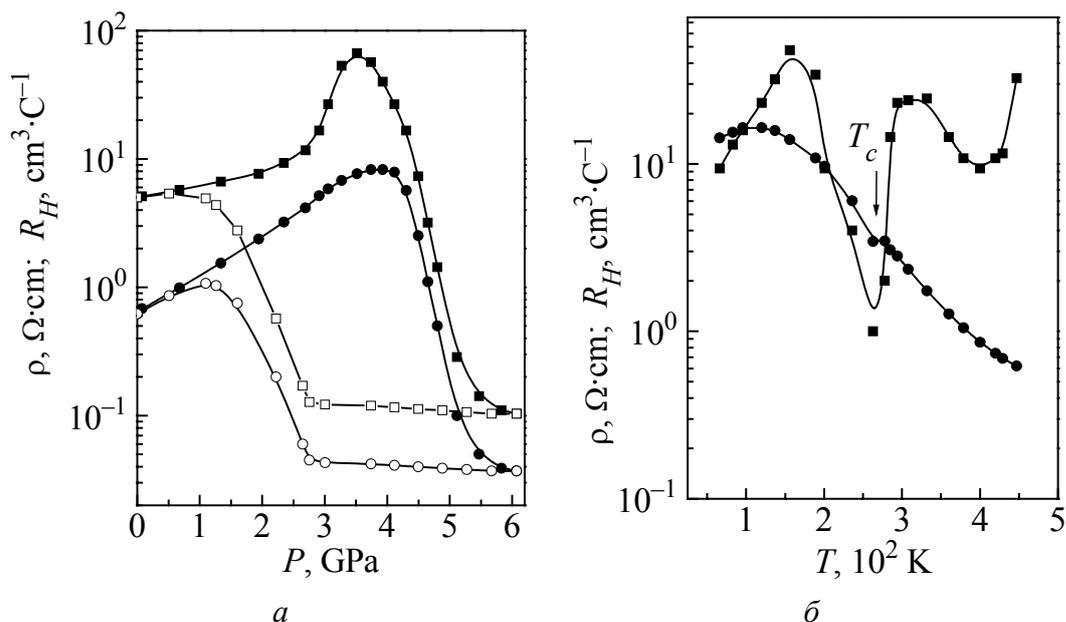


Рис. 1. Зависимости удельного электросопротивления ρ (—○—, —●—) и коэффициента Холла R_H (—□—, —■—) образца $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$: *a* – от давления (темные символы – подъем, светлые – сброс); *б* – от температуры; $H = 5$ кОе

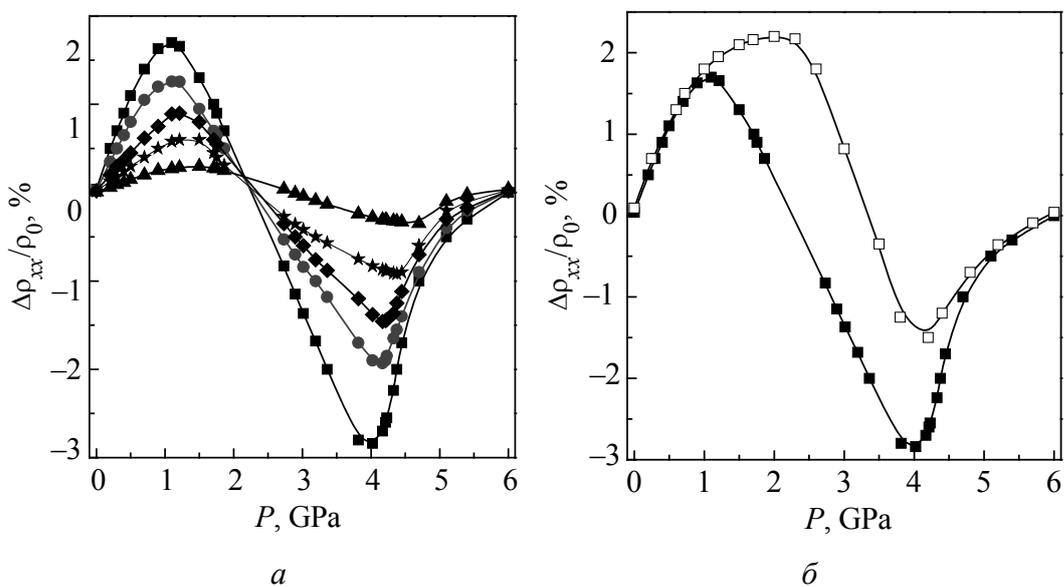


Рис. 2. Зависимость поперечного магнитосопротивления $\Delta\rho_{xx}/\rho_0$ образца $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$ от давления: *a* – при различных значениях магнитного поля H , кОе (—■— – 5, —●— – 4, —◆— – 3, —★— – 2, —▲— – 1); *б* – при $H = 5$ кОе при подъеме (темные символы) и сбросе (светлые) давления

Увеличение давления и магнитного поля приводит к возрастанию амплитуды положительного магнитосопротивления (ПМС), которая достигает максимума в поле $H = 5$ кОе при $P \geq 1$ ГПа. Дальнейшее увеличение давления

приводит к понижению ПМС. При $P \geq 2.5$ GPa магнитосопротивление становится отрицательным (ОМС). В области фазового превращения ОМС при давлении $P > 4.0$ GPa и поле $H = 5$ kOe составляет $\sim 3\%$. При сбросе давления на зависимостях $\Delta\rho/\rho_0(P)$ наблюдается гистерезис магнитосопротивления, который, по-видимому, является характеристикой аномального рассеяния носителей заряда, возникающего при переходе в магнитоупорядоченное состояние при формировании ферромагнитных кластеров наноразмера (ферронов).

4. Заключение

В заключение можно констатировать, что на образце $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$ при подъеме и сбросе давления наблюдается структурный обратимый фазовый переход диэлектрик–металл. Впервые обнаружено, что в образце $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.30}\text{GeAs}_2$ под всесторонним давлением магнитосопротивление становится отрицательным; при понижении давления фиксируется гистерезис магнитосопротивления. Характер зависимости магнитосопротивления от величины давления и поля может служить дополнительным источником информации при выборе моделей, объясняющих магниторезистивный эффект.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН «Теплофизика и механика экстремальных энергетических воздействий и физика сильно сжатого вещества», секция «Физика сильно сжатого вещества».

1. С.Ф. Маренкин, В.М. Новоторцев, К.К. Палкина и др., Неорган. материалы **40**, 135 (2004).
2. Г.А. Медведкин, Т. Ишибаши, Т. Ниши, К. Сато, ФТП **35**, 342 (2001).
3. Г.А. Medvedkin, T. Ishibashi, T. Nishi et al., Jpn. J. Appl. Phys. **39**, 949 (2000).
4. L.G. Khvostantsev, L.P. Vereshagin, A.P. Novikov, High Temp.–High Pressures **9**, 637 (1977).
5. А.Ю. Моллаев, Р.К. Арсланов, Л.А. Сайпулаева, С.Ф. Маренкин, Неорган. материалы **37**, 405 (2001).

А.Ю. Моллаев, І.К. Камілов, Р.К. Арсланов, У.З. Залібєков, Т.Р. Арсланов,
В.М. Новоторцев, С.Ф. Маренкін

БАРИЧНІ, ТЕМПЕРАТУРНІ І МАГНІТОПОЛЬОВІ ЗАЛЕЖНОСТІ КІНЕТИЧНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ У ФЕРОМАГНІТНОМУ НАПІВПРОВІДНИКУ $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$

Досліджено баричні залежності питомого електроопору ρ , коефіцієнта Холла R_H і поперечного магнітоопору $\Delta\rho_{xy}/\rho_0$ в магнітних полях $H \leq 5$ kOe при підйомі і скиданні тиску в області кімнатних температур. Отримано температурні залежності ρ і R_H при атмосферному тиску в діапазоні температур 77–450 K у ферромагнітному (ФМ) напівпровіднику $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$.

Ключові слова: ферромагнітний напівпровідник, тиск, питомий електроопір, магнітне поле

*A.Yu. Mollaev, I.K. Kamilov, R.K. Arslanov, U.Z. Zalibekov, T.R. Arslanov,
V.M. Novotorzev, S.F. Marenkin*

BARIC, TEMPERATURE AND MAGNETIC-FIELD DEPENDENCES
OF KINETIC COEFFICIENTS IN FERROMAGNETIC SEMICONDUCTOR
 $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$

The pressure dependences of resistivity ρ , Hall coefficient R_H and transverse magnetoresistance $\Delta\rho_{xx}/\rho_0$ have been investigated for $H \leq 5$ kOe at increasing and decreasing pressure at room temperature. In $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$ the temperature dependences of ρ and R_H have been defined in the temperature range 77–450 K at atmospheric pressure.

Keywords: ferromagnetic semiconductor, pressure, resistivity, magnetic field

Fig. 1. Dependences of resistivity ρ (—○—, —●—) and Hall coefficient R_H (—□—, —■—) of sample $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$: *a* – on pressure (dark symbols – rise, light symbols – decrease); *b* – on temperature; $H = 5$ kOe

Fig. 2. Dependence of transverse magnetoresistance $\Delta\rho_{xx}/\rho_0$ for the sample $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$ on pressure: *a* – for different values of magnetic field H , kOe (—■— – 5, —●— – 4, —◆— – 3, —★— – 2, —▲— – 1); *b* – for $H = 5$ kOe with pressure increase (dark symbols) and decrease (light symbols)