

Индукцированный высоким давлением метамагнитный переход в ферромагнитном полупроводнике $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$

А. Ю. Моллаев, И. К. Камилов, Р. К. Арсланов¹⁾, Т. Р. Арсланов, У. З. Залибеков, В. М. Новоторцев⁺, С. Ф. Маренкин⁺

Учреждение РАН Институт физики Дагестанского научного центра РАН, 367003 Махачкала, Россия

⁺ Учреждение РАН Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, 119991 Москва, Россия

Поступила в редакцию 31 марта 2010 г.

Измерены зависимости магнитной восприимчивости χ/χ_0 , продольного ($\Delta\rho_{zz}/\rho_0$) и поперечного ($\Delta\rho_{xx}/\rho_0$) магнетосопротивления от гидростатического давления $P \leq 7$ ГПа при комнатной температуре в высокотемпературном ферромагнитном полупроводнике $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$ со структурой халькопирита и температурой Кюри $T_c = 355$ К. Обнаружено, что в $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$ вблизи температуры магнитного упорядочения индуцируется давлением метамагнитный переход из состояния с низкой намагниченностью в состояние с высокой намагниченностью, сопровождающийся гистерезисом магнитной восприимчивости и магнетосопротивления.

Объединение в одном материале магнитных и полупроводниковых свойств представляет существенный интерес как с точки зрения развития спинтроники, так и для фундаментальных исследований [1–6]. Фундаментальный интерес к исследованию разбавленных магнитных полупроводников (РМП) определяется тем, что в них наряду с известными и широко исследуемыми в полупроводниковых структурах взаимодействиями (кулоновское, электрон-электронное, электрон-фононное, деформационным и случайным потенциалом, вызванным неоднородностью в распределении примесей и наличием дефектов) существенную роль играет магнитное, обменное взаимодействие. В результате эти исследования приобрели значительную актуальность.

В данной работе исследованы магнитные и кинетические свойства ферромагнитного полупроводника $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$ с помощью анализа барических зависимостей магнитной восприимчивости и магнетосопротивления (МС).

Поликристаллический $\text{CdGeAs}_2\{\text{Mn}\}$ был получен методом спекания из предварительно синтезированного диарсенида кадмия, порошкообразных марганца (99.9%), германия и мышьяка при температурах, превышающих температуру плавления CdGeAs_2 ($\sim 670^\circ\text{C}$), с последующей закалкой для получения образцов с максимальным содержанием марганца. Подробно методика получения образцов описана в [7].

Измерение динамической магнитной проницаемости проводилось путем регистрации изменения

частоты резонансного контура, в катушку индуктивности которого помещен образец.

Измерение барических зависимостей продольного магнетосопротивления $\Delta\rho_{zz}/\rho_0$, и поперечного магнетосопротивления, $\Delta\rho_{xx}/\rho_0$, проводилось на поликристаллическом образце $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$ при гидростатических давлениях до $P \leq 7$ ГПа. Более подробно методика и техника эксперимента описаны в работах [8, 9].

Экспериментальные зависимости относительной магнитной восприимчивости χ/χ_0 (χ_0 – значение магнитной восприимчивости при атмосферном давлении и комнатной температуре) представлены на рис.1. Рис.1 демонстрирует острый пик на зависимости относительной магнитной восприимчивости от давления для образца $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$. При давлениях $P > 2$ ГПа зависимость восприимчивости насыщается, причем величина магнитной восприимчивости в области насыщения больше начального. При давлении $P > 4.5$ ГПа наблюдается еще один спад магнитной восприимчивости. Последнее, вероятно, связано со структурным фазовым переходом, который имеет место при этих давлениях [1, 2]. Другой особенностью представленных данных (рис.1) является наличие гистерезисного поведения $\chi(P)/\chi_0$. Действительно при уменьшении давления χ/χ_0 вновь растет и достигает максимума, но уже при давлении $P = 2.2$ ГПа. Наблюдаемый при сбросе давления скачок восприимчивости происходит при более высоких давлениях, чем при подъеме давления, тогда как при структурном фазовом переходе имеет место обратная ситуация. Представленные на рис.1, 2 данные согласуются с результатами измерений барических

¹⁾ e-mail: arslanovr@gmail.com

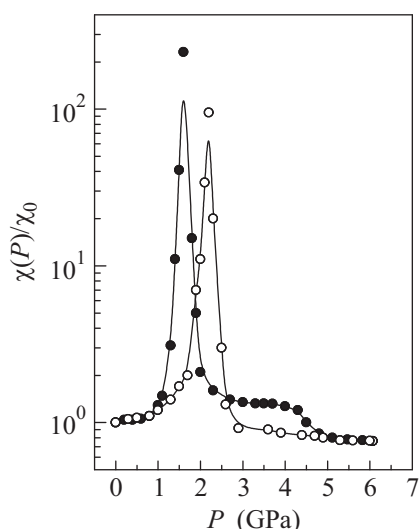


Рис.1. Зависимости относительной магнитной восприимчивости $\chi(P)/\chi_0$ от давления для $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$ при подъеме (темные точки) и сбросе давления (светлые точки). Измерено при $T = 293$ К и $f = 700$ кГц

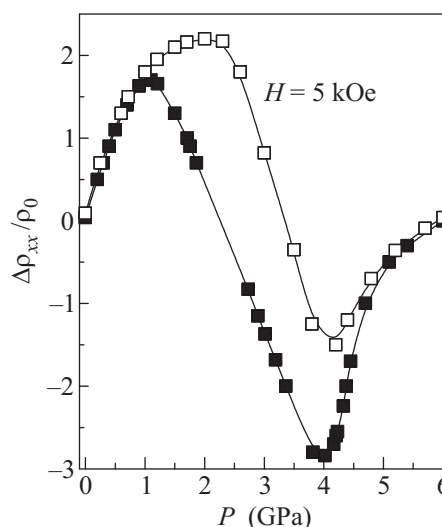


Рис.3. Зависимости поперечного $\Delta\rho_{xx}/\rho_0(H \perp I)$ магнетосопротивления от давления в поле $H = 5$ кЭ при подъеме (темные точки) и сбросе давления (светлые точки)

зависимостей продольного и поперечного магнетосопротивлений, рис.2, 3. В обоих случаях наблюдается

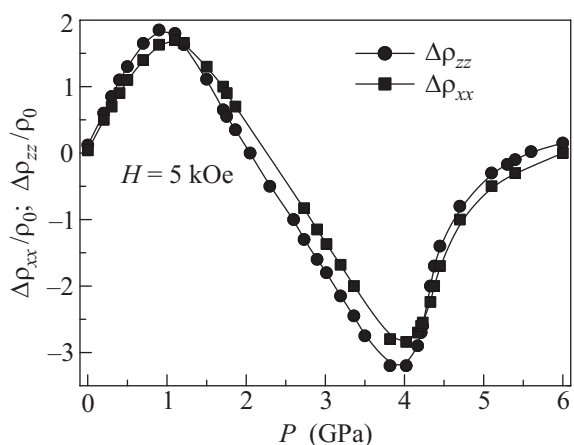


Рис.2. Зависимости поперечного $\Delta\rho_{xx}/\rho_0(H \perp I)$ и продольного $\Delta\rho_{zz}/\rho_0(H \parallel I)$ магнетосопротивления от давления для $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$ при подъеме давления

гистерезис МС и смена знака МС (от положительного к отрицательному) в том же диапазоне давлений, где наблюдается пик восприимчивости.

Из рис.2 видно, что до давлений $P \approx 2.7$ ГПа продольное и поперечное магнетосопротивления положительны и достигают максимума при $P = 1.2$ ГПа ($H = 5$ кЭ). Дальнейшее увеличение давления приводит к подавлению положительного магнетосопротивления. При $P > 2.7$ ГПа магнетосопротивление становится отрицательным. При давлении $P \approx 4$ ГПа и

максимальном поле $H = 5$ кЭ отрицательное поперечное и продольное магнетосопротивление составляет $\sim 3\%$. До давления $P < 1$ ГПа существенный вклад в магнетосопротивление может вносить рассеяние носителей тока на флуктуациях намагниченности – магнетосопротивление положительно. С ростом давления и магнитного поля происходит упорядочение спина ионов марганца, что снижает рассеяние и приводит к отрицательному магнетосопротивлению. При сбросе давления обнаружен гистерезис магнетосопротивления (рис.3).

В высокотемпературном ферромагнитном полупроводнике $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$ на зависимости χ/χ_0 при $P \sim 1.6$ ГПа наблюдается λ -аномалия. При этих же значениях давления наблюдается смена знака магнетосопротивления, которое переходит из положительного в отрицательное. Обе величины, восприимчивость и магнетосопротивление, при сбросе давления демонстрируют гистерезис на зависимостях от давления. Таким образом, можно заключить, что в $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$ со структурой халькопирита вблизи T_c существует метамагнитный переход из состояния с низкой намагниченностью в состояние с высокой намагниченностью. Из анализа зонной структуры $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$ можно предположить зонную природу магнетизма и метамагнитного перехода в ферромагнитном полупроводнике $\text{Cd}_{0.7}\text{Mn}_{0.3}\text{GeAs}_2$ [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН “Теплофизика и механика экстремальных энергетических воздействий в физи-

ке сильно сжатого вещества” секция “Физика сильно сжатого вещества”.

1. A. Yu. Mollaev, I. K. Kamilov, R. K. Arslanov et al., J. Physics: Conference Series **121**, 022010 (2008).
2. A. Yu. Mollaev, I. K. Kamilov, R. K. Arslanov et al., Phys. Stat. Solidi B **246**, 655 (2009).
3. Л. С. Лобановский, В. М. Новоторцев, С. Ф. Маренкин и др., Письма в ЖЭТФ **89**, 391 (2009).
4. P. M. Krstajic, F. M. Peeters, V. A. Ivanov et al., Phys. Rev. B **70**, 195215 (2004).
5. С. В. Гуденко, Б. А. Аронзон, В. А. Иванов, Письма в ЖЭТФ **82**, 591 (2005).
6. В. М. Новоторцев, В. Т. Калинин, Л. И. Королева и др., Ж. Неорган. Химии **50**, 552 (2005).
7. С. Ф. Маренкин, В. М. Новоторцев, К. К. Палкина и др., Неорган. Материалы **40**, 1 (2004).
8. L. G. Khvostanstev, L. P. Vereshchagin, A. P. Novikov et al., High Press. High Temp. **9**, 637 (1977).
9. А. Ю. Моллаев, Л. А. Сайпулаева, Р. К. Арсланов и др., Неорган. Материалы **37**, 405 (2001).