ФИЗИКА

УДК 621.315.592

DOI: 10.21779/2542-0321-2018-33-4-7-12

Р.К. Арсланов¹, Т.Р. Арсланов, А.К. Муртазаев, И.В. Федорченко²

Аномальный эффект Холла в ферромагнитной нанокompозитной структуре $\text{Zn}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{GeAs}_2+10\text{wt.}\%\text{MnAs}$ и $\text{Zn}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{GeAs}_2+15\text{wt.}\%\text{MnAs}$ при высоком давлении до 7 ГПа

¹ Институт физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского научного центра Российской академии наук; Россия, 367003, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 94; arslnovr@gmail.com;

² Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН; Россия, 119071, г. Москва, Ленинский пр., 31

Проведены исследования аномального эффекта Холла в ферромагнитной нанокompозитной структуре $\text{Zn}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{GeAs}_2+10\text{wt.}\%\text{MnAs}$ и $\text{Zn}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{GeAs}_2+15\text{wt.}\%\text{MnAs}$ при высоком давлении до 7 ГПа и комнатной температуре. Установлено, что аномальный эффект Холла не монотонно зависит от магнитного поля из-за его влияния на характер рассеяния носителей тока. Полученные результаты полевой зависимости аномального эффекта Холла от магнитного поля при комнатной температуре под давлением свидетельствуют о доминирующей роли асимметричного рассеяния в возникновении аномального эффекта Холла. При этом основными носителями тока являются состояния с поляризацией спинов против намагниченности. Наблюдаемая смена знака аномальной компоненты Холла свидетельствует о внутреннем механизме и не является результатом внешнего воздействия.

Ключевые слова: давление, магнитное поле, аномальный эффект Холла, рассеяние.

Введение

Аномальный эффект Холла (АЭХ) возникает в ферромагнитных системах с нарушенной Т-симметрией из-за спин-орбитального взаимодействия (СОВ). Хотя АЭХ достаточно хорошо изучен в металлических ферромагнетиках, для его понимания необходимы экспериментальные и теоретические исследования. Новые экспериментальные исследования АЭХ в разбавленных магнитных полупроводниках с умеренной проводимостью устанавливают систематическую связь электронной структуры с внутренним механизмом АЭХ, связанного с фазой Берри. Фаза Берри устанавливает связь между АЭХ и топологической природой Холла. Внутренний АЭХ может быть выражен в терминах кривизны фазы Берри, следовательно, это внутреннее квантовое механическое свойство идеального кристалла. Внешний механизм рассеяния АЭХ имеет тенденцию доминировать в проводящих ферромагнетиках.

В настоящее время ферромагнитные структуры [1–4] интенсивно изучаются. Эти системы являются перспективными материалами для спинтроники и представляют большой интерес для исследователей, так как при комнатной температуре обладают высокой температурой Кюри. В данной работе обсуждается новый взгляд на АЭХ с учетом внутренних и внешних механизмов. В 1954 году Карплусом и Латтинджером была предложена первая макроскопическая теория [5], описывающая собственный механизм возникновения АЭХ.

В настоящее время в литературе известны три механизма возникновения АЭХ: асимметричное рассеяние, которое приводит к линейной зависимости; боковое смещение и собственный АЭХ с квадратичной зависимостью и не зависящий от рассеяния [6–9]. Аномальный коэффициент Холла при асимметричном рассеянии определяется свойствами самой системы и внешними условиями [10, 11] и имеет вид

$$\rho_{xy}^A \sim \alpha \rho_{xx} + \beta \rho_{xx}^2, \quad (1)$$

где ρ_{xx} – удельное продольное сопротивление, α, β – константы.

Цель данной работы – выявление основного механизма АЭХ в ферромагнитной структуре.

Образцы и методика эксперимента

Измерения проводились в аппарате высокого давления типа «Тороид» на поликристаллических образцах $\text{Zn}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{GeAs}_2+10\text{wt.}\%\text{MnAs}$ и $\text{Zn}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{GeAs}_2+15\text{wt.}\%\text{MnAs}$ при гидростатическом давлении до $P \leq 7$ ГПа в области комнатных температур при подъеме и сбросе давления. Более подробно методика и техника эксперимента описаны в [12], синтез образцов и технологические режимы их выращивания – в [13].

Результаты

На рис. 1, 2 представлены полевые зависимости холловского удельного сопротивления ρ_{xy} при различных давлениях.

Рис. 1. Зависимости холловского сопротивления от магнитного поля при различных давлениях

Рис. 2. Зависимости холловского сопротивления от магнитного поля при различных давлениях

Как видно из рис. 1, 2, в обоих образцах зависимости холловского удельного сопротивления от магнитного поля $\rho_{xy}(H)$ слабо насыщаются, как в неупорядоченных ферромагнитных металлах [14]. Тот факт, что сохраняются как знак эффекта Холла, так и общий характер $\rho_{xy}(H)$, по-видимому, означает, что в обоих случаях за аномальный эффект Холла отвечает спин-орбитальное взаимодействие. Спин-орбитальное взаимодействие оказывает влияние и на транспортные свойства спин-поляризованных электронов. Для более глубокого понимания данного явления были исследованы барические зависимости аномальной компоненты холловского удельного сопротивления от магнитного поля при различных давлениях. На рис. 3 приведены барические зависимости аномальной компоненты холловского удельного сопротивления в магнитном поле 5 кОе.

Рис. 3. Зависимости аномальной компоненты холловского сопротивления от давления для образцов 1 – $\text{Zn}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{GeAs}_2+10\text{wt.}\%\text{MnAs}$ и 2 – $\text{Zn}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{GeAs}_2+15\text{wt.}\%\text{MnAs}$

Рис. 4. Зависимость аномальной компоненты холловского сопротивления от продольного удельного сопротивления под давлением в магнитном поле 5 кЭ для образца $\text{Zn}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{GeAs}_2+15\text{wt.}\%\text{MnAs}$

С целью выявления доминантного механизма АЭХ необходимо определить характер параметрической зависимости $\rho_{xy}^A(\rho_{xx})$. Она в нашем случае демонстрирует три различных участка при сохранении типа носителей заряда (дырок) (рис. 4). Выявлены три интервала давлений 0÷2 ГПа (участок 1), 2÷3.8 ГПа (участок 2) и 3.8÷4.2 ГПа (участок 3) с различным поведением параметрической зависимости $\rho_{xy}^A(\rho_{xx})$, которые свидетельствуют о наблюдении вкладов всех трех механизмов АЭХ, обсуждаемых в литературе.

Работа выполнена при поддержке программы президиума РАН № 08 «Физика конденсированных сред и материалы нового поколения».

Литература

1. Kossut J. and Dobrowolski W. Handbook of Magnetic Materials. – North-Holland, Amsterdam, 1993. – 305 p.
2. Temirlan R. Arslanov, Akhmedbek Yu. Mollaev, Ibragimkhan K. Kamilov, Rasul K. Arslanov, Lukasz Kilanski, Roman Minikaev, Anna Reszka, Sinhue Lo'pez-Moreno, Aldo H. Romero, Muhammad Ramzan, Puspamitra Panigrahi, Rajeev Ahuja, Vladimir M. Trukhan, Tapan Chatterji, Sergey F. Marenkin Tatyana V. Shoukavaya. Pressure control of magnetic

clusters in strongly inhomogeneous ferromagnetic chalcopyrites // *Scientific Reports*. – 2015. – V. 5. – P. 1–6.

3. Arslanov T.R., Kilanski L., López-Moreno S., Mollaev A.Yu., Arslanov R.K., Fedorchenko I.V., Chatterji T., Marenkin S.F., Emirov R.M. Changes in the magnetization hysteresis direction and structure-driven magnetoresistance of a chalcopyrite-based magnetic semiconductor // *J. Phys. D: Appl. Phys.* – 2016. – V. 49. – P. 125007.

4. Arslanov T.R., Arslanov R.K., Kilanski L., Chatterji T., Fedorchenko I.V., Emirov R.M., Ril A.I. Low-field-enhanced unusual hysteresis produced by metamagnetism of the MnP clusters in the insulating CdGeP₂ matrix under pressure // *Phys. Rev. B*. – 2016. – V. 94. – P. 184427.

5. Karplus R., Luttinger J.M. Hall Effect in Ferromagnetic // *Phys. Rev.* – 1954. – V. 95 – P. 1154–1159.

6. Smit J. The spontaneous hall effect in ferromagnetics // *Physica*. – 1958. – V. 24, № 1–5. – P. 39–51.

7. Berger L. Side-Jump Mechanism for the Hall Effect of Ferromagnets // *Phys. Rev. B*. – 1970. – V. 2. – P. 4559–4563.

8. Onoda M., Nagaosa N. Topological Nature of Anomalous Hall Effect in Ferromagnets // *J. Phys. Soc. Jpn.* – 2002. – V. 71. – P. 19–22.

9. Jungwirth T., Niu Q., MacDonald A.H. Anomalous Hall Effect in Ferromagnetic Semiconductors // *Phys. Rev. Lett.* – 2002. – V. 88. – P. 207208.

10. Jungwirth T., Sinova J., Masek J., Kuera J., MacDonald H. Theory of ferromagnetic (III, Mn) V semiconductors // *Rev. Mod. Phys.* – 2006. – V. 78. – P. 809–812.

11. Lee P.A., Nagaosa N., Wen X.G. Doping a Mott insulator: Physics of high-temperature superconductivity // *Rev. Mod. Phys.* – 2006. – V. 78. – P. 17.

12. Khvostantsev L.G., Slesarev V.N., Brazhkin V.V. Toroid type high-pressure device: history and prospects // *High Pressure Research*. – 2004. – V. 24, № 3. – P. 371–374.

13. Fedorchenko I.V., Aronov A.N., Kilanski L., Domukhovski V., Reszka A., Kowalski B.J., Lahderanta E., Dobrowolski W., Izotov A.D., Marenkin S.F. J. Phase equilibria in the ZnGeAs₂–CdGeAs₂ system // *Alloys Compd.* – 2014. – V. 599. – P. 121–125.

14. Ведяев А.В., Грановский А.Б., Котельникова О.А. Кинетические явления в неупорядоченных ферромагнитных сплавах. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 158 с.

Поступила в редакцию 10 октября 2018 г.

UDC 621.315.592

DOI: 10.21779/2542-0321-2018-33-4-7-12

**Anomalous Hall effect in the ferromagnetic nanocomposite structure
 $\text{Zn}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{GeAs}_2 + 10\text{wt.}\%\text{MnAs}$ and $\text{Zn}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{GeAs}_2 + 15\text{wt.}\%\text{MnAs}$**

R.K. Arslanov¹, T.R. Arslanov¹, A.K. Murtazaev¹, I.V. Fedorchenko²

¹ *Institute of Physics, Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences; Russia, 367003, Makhachkala, M. Yaragsky st., 94; arslanovr@gmail.com;*

² *Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry RAS; Russia, 119991, Moscow; Lenin Avenue, 31*

The anomalous Hall effect was studied in the ferromagnetic nanocomposite structure $\text{Zn}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{GeAs}_2+10\text{wt.}\%\text{MnAs}$ and $\text{Zn}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{GeAs}_2+15\text{wt.}\%\text{MnAs}$ at high pressure up to 7 GPa and room temperature. It is established that the anomalous Hall effect is not monotonously dependent on the magnetic field, due to the influence of the magnetic field on the nature of current carriers scattering. The results of the field dependence in the anomalous Hall effect on the magnetic field at room temperature under pressure give evidence of the dominant role of asymmetric scattering in the occurrence of the anomalous Hall effect. In this case, the main current carriers are the states with polarization of spins against magnetization. The observed change in the sign of the anomalous Hall component is indicative of some internal mechanism, and is not the result of an external influence.

Keywords: *pressure, magnetic field, anomalous Hall effect, scattering.*

Received 10 October, 2018