

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ $\text{Fe}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$

Гашимов Г. И., Рустамов А. Г., Мустафаев А. А.

Экспериментально изучены удельная электропроводность σ , магнитосопротивление (МС) $\Delta\rho/\rho$, эффект Холла, намагниченность и парамагнитная восприимчивость системы $\text{Fe}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$ ($0 \leq x \leq 1$). В составах с $x=0.1, 0.2, 0.4$ и 0.8 в области T_c обнаружен минимум электропроводности, и наклон зависимости $\lg \sigma = f(10^3/T, \text{K}^{-1})$ изменяется. Энергия активации исследованных образцов в несколько раз выше в парамагнитной области, чем в ферромагнитной. Оказалось, что все образцы данной системы обладают отрицательными магнитосопротивлениями с минимумом вблизи температуры Кюри, что объясняется рассеянием носителей тока на разупорядоченных спинах. Выявлена взаимосвязь между электрическими и магнитными свойствами. Результаты эксперимента объясняются на основе теории $s-d$ -обмена.

Влияние магнитного порядка на электропроводность объясняется в теоретических работах [1-3]. Принимается, что зонная теория, которая базируется на одноэлектронном приближении и пренебрегает корреляцией между частицами, не в полной мере применима к магнитным полупроводникам. В магнитных полупроводниках выше температуры Кюри [4] в температурной зависимости сопротивления необходимо принимать во внимание спин-спиновые корреляции, которые существенны при достаточно больших длинах волн электронов на поверхности Ферми; при этом сопротивление имеет острый пик при температуре Кюри.

С целью выяснения вышеуказанных вопросов нами экспериментально исследованы магнитосопротивление (МС), электропроводность, эффект Холла, намагниченность и парамагнитная восприимчивость хромовых халькогенидных шпинелей. Объектами для исследования выбраны образцы системы $\text{Fe}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$ ($0 \leq x \leq 1$), которые получены методом твердофазного синтеза. Синтез и физико-химические свойства были описаны нами ранее [5, 6]. Для измерения электропроводности, МС и эффекта Холла использовались цифровой мост Р-380 (при $\sigma < 1 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$) и потенциометр Р-371 (при $\sigma > 1 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$).

На рис. 1 представлены температурные зависимости электропроводности для образцов системы $\text{Fe}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$ ($0 \leq x \leq 1$). Из рисунка видно, что для всех составов наблюдается полупроводниковая проводимость. Однако для составов с $x=0.1, 0.2, 0.4$ и 0.8 вблизи T_c обнаружены минимум электропровод-

Основные электрические и магнитные характеристики
системы твердых растворов $\text{Fe}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$

Состав x	ρ , Ом·см	Коэффициент термоэдс α , мкВ/К	Энергия активации, эВ		Точки Кюри T_c , К	Магнитосопротивление $\Delta\rho/\rho$, %	Магнитный момент на молекулу μ_B
			$T < T_c$	$T > T_c$			
0	6.25	220	0.02	0.11	181	5.5	1.60
0.1	18.20	110	0.03	0.09	175	4.2	1.77
0.2	23.20	95	0.03	0.06	168	3.9	2.36
0.4	32.40	140	0.04	0.10	134	3.7	2.55
0.8	11.20	290	0.045	0.065	126	3.4	2.01

ности и изменение наклона зависимости $\lg \sigma = f(10^3/T, \text{K}^{-1})$, связанное с усилением полупроводниковых свойств, что можно объяснить исчезновением дальнего магнитного порядка. Энергия активации, вычисленная выше и ниже T_c , приведена в таблице. Видно, что энергия активации образцов с $x \leq 0.8$ в парамагнитной области в несколько раз выше, чем в ферромагнитной. Все образцы данной системы являются полупроводниками p -типа. Можно предположить, что ниже точки Кюри в результате $s-d$ -обмена носители тока локализованы на примесных центрах. За счет избыточной энергии активации носители заряда мигрируют от одного примесного центра к другому, т. е. перенос заряда осуществляется по примесным центрам в примесной зоне. Выше точки Кюри,

где нет влияния магнитного порядка на рассеяние электронов, носители активируются и перемещаются с примесных центров в зону проводимости, чем и объясняется увеличение угла наклона зависимости $\lg \sigma = f(10^3/T, \text{K}^{-1})$. Иначе при переходе через точку Кюри в магнитоупорядоченное состояние энергия ак-

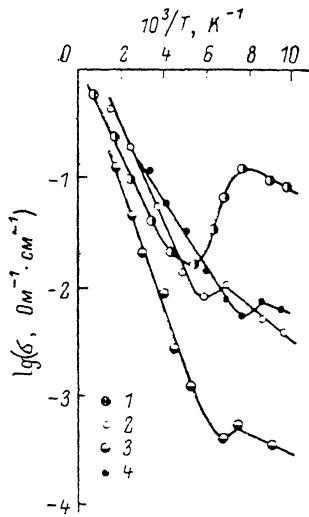


Рис. 1. Температурные зависимости электропроводности для системы $\text{Fe}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$.

x : 1 — 0.1, 2 — 0.2, 3 — 0.4, 4 — 0.8.

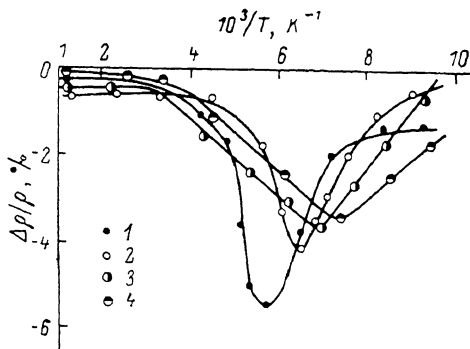


Рис. 2. Температурные зависимости магнитосопротивления для системы $\text{Fe}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$.

x : 1 — 0.1, 2 — 0.2, 3 — 0.4, 4 — 0.8.

тивации ферромагнитных составов уменьшается, что связано с расщеплением энергетического спектра носителей тока (рис. 1).

Вычисления показали, что в $\text{Fe}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Cr}_2\text{S}_4$ холловская, а также дрейфовая подвижности носителей тока малы и в области магнитного упорядочения увеличиваются с повышением температуры. Полевые зависимости электросопротивления при различных температурах для исследованных образцов показали, что вначале ρ незначительно падает с повышением напряженности магнитного поля H , достигает минимума, а затем растет.

На рис. 2 приведены температурные зависимости МС системы $\text{Fe}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$ ($x=0, 0.1, 0.4, 0.8$). Видно, что для всех образцов наблюдается отрицательное МС, которое вблизи T_c имеет минимум. Максимальное значение отрицательного МС достигает $\sim 5.5\%$ при $x=0$. С повышением концентрации цинка в составах минимумы перемещаются в сторону низких температур и их значения уменьшаются. Существование отрицательного МС ($\Delta\rho/\rho$) вблизи T_c объясняется теорией спин-разупорядоченного рассеяния по Хаасу [7, 8]. Минимум отрицательного МС вблизи T_c связывается, во-первых, с увеличением числа свободных носителей тока в магнитных полупроводниках под действием магнитного поля, во-вторых, с подавлением полем флуктуаций намагниченности, которое приводит к увеличению степени дальнего магнитного порядка и, следовательно, к уменьшению рассеяния носителей тока на этих флуктуациях. Вместе с тем магнитное поле увеличивает степень поляризации электронов по спину, т. е. увеличивается их фермиевская энергия μ [9, 10], вследствие чего повышается кинетическая энергия электронов ε , а значит, ослабляется их рассеяние дефектами.

Намагниченность составов измерена на маятниковом магнитометре Домен-калли в магнитных полях 5,8, 7,3, 8,4, 9,3 и 10 кЭ, восприимчивость — методом Фарадея на магнитоэлектрических весах. Спонтанная намагниченность при фиксированной температуре определена экстраполяцией намагниченности, измеренной при различных магнитных полях, на нулевое магнитное поле.

На рис. 3 приведена зависимость удельной намагниченности системы $Fe_{1-x}Zn_xCr_2S_4$ ($x=0, 0,1, 0,2, 0,4, 0,8$) от магнитного поля при 4,2 К. Как видно из рисунка, изотермы намагниченности характерны для материалов, обладающих спонтанной намагниченностью. Для всех составов процесс технического намагничивания заканчивается в полях до ~ 3 кЭ, после чего наблюдается незначительный парапроцесс. Значение точки Кюри и магнитные моменты насыщения составов приведены в таблице. С увеличением содержания Zn в тетраэдрических междуузлиях температура Кюри составов уменьшается, что обусловлено ослаблением обменного взаимодействия между тетра- и октаэдрическими подрешетками.

Экспериментальные результаты показали, что исследованные составы в па-

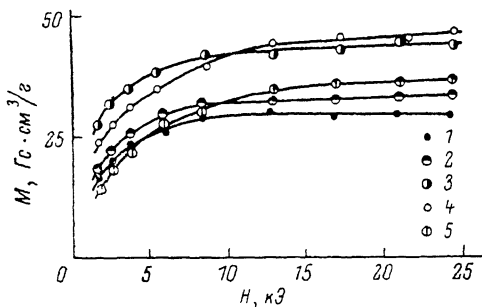


Рис. 3. Зависимость удельной намагниченности системы $Fe_{1-x}Zn_xCr_2S_4$ от магнитного поля при 4,2 К.

x : 1 — 0, 2 — 0,1, 3 — 0,2, 4 — 0,4, 5 — 0,8.

рамагнитной области проявляют себя неелевскими ферромагнетиками, т. е. зависимости $1/\chi(T)$ имеют гиперболический вид, характерный для ферромагнитных материалов, которые в высокотемпературной области линейны.

Полученные нами данные по электрическим и магнитным свойствам исследуемой системы позволяют установить, что в области магнитного превращения наблюдается резкое изменение температурного коэффициента, соответствующего кинетическому явлению, что и указывает на определенную связь этих явлений со спонтанной намагниченностью.

Л и т е р а т у р а

- [1] Penn D. R. — Phys. Rev., 1966, v. 142, N 2, p. 350—365.
- [2] Vonsovsky S. V. — Phys. Soc. Japan, 1962, v. 17 (Suppl. B-1), p. 44—55.
- [3] Kondo J. — Progr. Theor. Phys. (Kyoto), 1962, v. 27, N 4, p. 772—792.
- [4] Нагаев Э. Л. Ферромагнитные и антиферромагнитные полупроводники. — УФН, 1975, т. 117, в. 3, с. 437—492.
- [5] Гашимов Г. И., Рустамов А. Г., Мустафаев А. А. Получение и физико-химические исследования полупроводниковой системы $Fe_{1-x}Zn_xCr_2S_4$. — В кн.: Тез. докл. VI Всес. совещ. по физико-химическому анализу. Киев, 1983, с. 174—175.
- [6] Рустамов А. Г., Белов К. П., Гашимов Г. И., Королева Л. И., Мустафаев А. А. Влияние катионного замещения на энергетический электронный спектр в магнитных полупроводниках. — В кн.: Тез. докл. XVII Всес. конф. по физике магнитных явлений. Донецк, 1985, с. 131—132.
- [7] Bongers P. F., Haas C., van Bun A. M. J. G., Zanmarchi G. — Appl. Phys., 1969, v. 40, N 3, p. 958—963.
- [8] Dwight K., Menyuk N. — Phys. Rev., 1967, v. 163, N 2, p. 435—443.
- [9] Белов К. П., Королева Л. И., Цветкова И. А., Гордеев И. В., Кеслер Я. А., Титов В. В. Неоднородное магнитное состояние в системе твердых растворов $x-CuCr_2S_4-(1-x)-Cu_{0,5}Ga_{0,5}Cr_2S_4$. — ФТТ, 1981, т. 52, в. 2, с. 314—322.
- [10] Нагаев Э. Л. Физика магнитных полупроводников. М., 1979. 430 с.

Азербайджанский государственный педагогический институт им. В. И. Ленина
Баку

Получена 12.02.1987
Принята к печати 20.07.1987