

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРА ЭФФЕКТИВНОГО СПИН-ОРБИТАЛЬНОГО
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ПРОВОДИМОСТИ В СПЛАВАХ
СИСТЕМЫ $Ni_3(Fe_{25-x}Cr_x)$ ПО ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫМ И
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ

О.К. Кувандиқов, Р.М.Ражабов, М. Мустафоева
Самарқандский государственный университет.

Аннотация

В данной работе по результатам экспериментальных исследований концентрационных зависимостей аномального коэффициента Холла, и удельного электрического сопротивления сплавов $Ni_{75}Fe_{24}Cr_{01}$; $Ni_{75}Fe_{22}Cr_{03}$; $Ni_{75}Fe_{20}Cr_{05}$; $Ni_{75}Fe_{18}Cr_{07}$; $Ni_{75}Fe_{15}Cr_{10}$ системы $Ni_3(Fe_{25-x}Cr_x)$ были вычислены параметры эффективные спин-орбитального взаимодействия λ_{so} . Результаты вычисления показывают, что в ферромагнитном состоянии эффективный параметр спин-орбитального взаимодействия несколько меньше чем в парамагнитном состоянии. Это свидетельствует о том, что в ферромагнитном состоянии в эффективный параметр спин-орбитального взаимодействия дают основной вклад спиновые рассеяния электронов проводимости. Сравнивая полученные результаты сделан вывод, что вычисленные значение параметра эффективного спин-орбитального взаимодействия λ_{so} изученных образцов по порядку величин совпадают с результатами, полученными по оптическим спектрам в ионах переходных металлов группы железа.

Ключевые слова: аномального коэффициента Холла, удельного электрического сопротивления, спин-орбитального взаимодействия.

Annotation

In this paper experimental results of anomalous Hall coefficient and specific electric resistivity properties of $Ni_{75}Fe_{24}Cr_{01}$; $Ni_{75}Fe_{22}Cr_{03}$; $Ni_{75}Fe_{20}Cr_{05}$; $Ni_{75}Fe_{18}Cr_{07}$; $Ni_{75}Fe_{15}Cr_{10}$ of $Ni_3(Fe_{25-x}Cr_x)$ system were used to calculate effective spin-orbital interaction parameters λ_{so} . It was shown that effective parameter of spin-orbital interaction of ferromagnetic state is smaller than one of paramagnetic state which is confirmed by direct calculations.

This phenomena can be explained by the fact that effective parameter of spin-orbital interaction is caused by influence of conductivity electrons spin scattering.

Compare results we get conclusion that calculated value of effective spin orbital interaction parameter λ_{so} of examined samples and results obtained from optical spectra of 3-d we can get the same order of values.

Keywords: anomalous Hall coefficient, specific electric resistivity, spin-orbital interaction

Annotatsiya

Ushbu ishda $Ni_3(Fe_{25-x}Cr_x)$ sistemasiga kiruvchi $Ni_{75}Fe_{24}Cr_01$; $Ni_{75}Fe_{22}Cr_03$; $Ni_{75}Fe_{20}Cr_05$; $Ni_{75}Fe_{18}Cr_07$; $Ni_{75}Fe_{15}Cr_{10}$ qotishmalarning anomal Xoll koeffitsiyenti va solishtirma elektr qarshiligini konsentrasiyaga bog'liqligining tajribada olingan natijalari asosida effektiv spin-orbital o'zaro ta'sir parametri λ_{so} hisoblanadi. Hisoblash natijalariga ko'ra effektiv spin-orbital o'zaro ta'sir parametri λ_{so} ning qiymati ferromagnit holatda paramagnet holatdagidan kichik bo'lishi aniqlandi. Bu esa ferromagnit holatda spin-orbital o'zaro ta'sirga elektronlarning spinlarda sochilishi asosiy ulush berishligidan dalolat beradi.

Hisoblash natijalarini taqqoslash ko'rsatdiki, o'rganilgan namunalarning effektiv spin-orbital o'zaro ta'sir parametric λ_{so} natijalari toza temir guruhi metallari uchun optic spektrlari orqali aniqlangan tajribaviy natijalarga tartib jihatdan mos keladi.

Kalit so'zlar: *anomal Xoll koeffitsiyenti, solishtirma elektr qarshilik, spin-orbital o'zaro ta'sir.*

Эффекты переноса в переходных металлах имеют ряд особенностей по сравнению с простыми металлами, которые обусловлены двойкой ролью d-электронов как рассеивающих центров с носителей тока. Более детально можно выделить следующие причины возникновения этих особенностей:

1. Существование носителей тока с сильно различающимися характеристиками (s и d электроны). В ферромагнетиках, кроме того, различными свойствами обладают носители с разными спинами.
2. Частично заполненные d-оболочки, которые в кристалле трансформируются в узкие d-зоны, являются дополнительными источниками рассеяния за счет s-d переходов Мотта.
3. Рассеяние на магнитных моментах d-оболочек и спиновых флуктуациях.
4. Возникновение аномальных гальваномагнитных эффектов пропорциональных намагниченности, а не внешнему магнитному полю.
5. Сильные корреляционные эффекты в узких d-зонах.
6. Влияние спин-орбитального взаимодействия на кинетических свойств.

Комплексное изучение электрических, магнитных и гальваномагнитных свойств металлических сплавов дает возможность оценить эффективный параметр спин-орбитального взаимодействия. В силу ряда обстоятельств указанных в работы [1, 2], вычисление параметра эффективного спин-орбитального взаимодействия λ_{SO} сплавов является довольно сложным.

Ионы переходных металлов обладают важным свойством, у них магнитные или неспаренные электроны лежат на внешних оболочках ионов.

Как известно [3], магнитный гамильтониан для редкоземельных и переходных ионов записывается следующим образом:

$$H = H_{\text{кулон}} + H_{\text{крист.поле}} + H_{\text{спин-орбит}} + H_{\text{Зееман}} \cdot (1)$$

Отсюда спин-орбитальный гамильтониан имеет вид

$$H_{\text{спин-орбит}} = \lambda_{SO} L \cdot S \quad (2)$$

где λ_{SO} – эффективный параметр спин-орбитального взаимодействия. Оценивая значения λ_{SO} можно предсказать расположение термов в оптических спектрах металлических сплавах. Эта параметра λ_{SO} трудно вычислить теоретически, его можно найти из эксперимента.

В данной работе из анализа экспериментальных данных была установлена взаимосвязь магнитных и кинетических свойств $Ni_{75}Fe_{24}Cr_{01}$; $Ni_{75}Fe_{22}Cr_{03}$; $Ni_{75}Fe_{20}Cr_{05}$; $Ni_{75}Fe_{18}Cr_{07}$; $Ni_{75}Fe_{15}Cr_{10}$ сплавов системы $Ni_3(Fe_{25-x}Cr_x)$ в ферромагнитном состоянии. используя экспериментальных значений аномального коэффициента Холла, электрического сопротивления и намагниченности вычислен эффективного параметра спин-орбитального взаимодействия. В этом заключается оригинальность нашего подхода по сравнению с другими авторами, например [1-3]. Полученные экспериментальные результаты удельного электрического сопротивления и

коэффициента Холла сплавов системы $\text{Ni}_3(\text{Fe}_{25-x}\text{Cr}_x)$ приведены на табл.1. Удельного электрического сопротивления ρ сплавов системы $\text{Ni}_3(\text{Fe}_{25-x}\text{Cr}_x)$ при комнатной температуры измерялись обычным четырех зондовым методом. Для измерения коэффициента Холла использован метод постоянного тока и постоянного магнитного поля.

Как показал, наши эксперименты знак параметра эффективного спин-орбитального взаимодействия λ_{SO} сплавов системы $\text{Ni}_3(\text{Fe}_{25-x}\text{Cr}_x)$ совпадает со знаком коэффициента Холла.

Зависимость сопротивления Холла от намагниченности в ферромагнитных металлах может быть записано в виде [2]:

$$\begin{aligned} \rho_H &= E_y / j_x = R_0 B_z + 4\pi R_S I_S \\ \rho_S &= 4\pi R_S I_S \end{aligned} \quad (3)$$

Известно, что физической причиной аномального эффекта Холла является спин-орбитальное взаимодействие. Аномальный Холл эффект в ферромагнетиках группы железа, возникающий из-за рассеяния электронов проводимости на спиновых неоднородностях с учетом двух видов спин-орбитального взаимодействия: как собственного спин-орбитального взаимодействия магнитных электронов, так и взаимодействия орбитального момента электронов проводимости со спинами магнитных электронов и аномальный коэффициент Холла R_S со спин-орбитальным взаимодействием связано в следующем выражении [4]:

$$R_S = \frac{2e^2}{\mu_B \mu_0 \eta g} \rho^2 \lambda_{SO} \quad (4)$$

где, $\mu_B = 0.927 \cdot 10^{-23}$ Ж/Тл - магнетон Бора, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м - магнитная постоянная, $\eta = 1.054 \cdot 10^{-34}$ Ж*с - постоянная Планка, $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл - заряд электрона, g -фактор Ланде, ρ -удельное сопротивление, λ_{SO} -эффективный параметр спин-орбитального взаимодействия. По значениям коэффициента Холла R_S и удельное сопротивление ρ определялся эффективный параметр спин-орбитального взаимодействия λ_{SO} .

Результаты вычисления эффективного параметра спин-орбитального взаимодействия λ_{SO} приведены в таблицы 1. Из таблиц видно что, с увеличением концентрации хрома уменьшаются параметра эффективного спин-орбитального взаимодействия λ_{SO} . Уменьшение λ_{SO} с увеличением концентрации хрома объясняется, что взаимное расположение атомов разного сорта в сплавах не хаотическое, а характеризуется существованием ближнего порядка, который определяется различием межатомных взаимодействий компонент сплава, что влияет на спин-орбитального взаимодействия. По видимому, это влияние связано с тем, что формирование ближнего порядка приводит к изменению концентрации электронов проводимости вблизи уровня Ферми, времени релаксации и др.

Таблица 1.

Значения аномального коэффициента Холла R_S , намагниченности I_S и эффективного параметра спин-орбитального взаимодействия λ_{SO} для сплавов $Ni_3(Fe_{25-x}Cr_x)$ в упорядоченном состоянии.

Образцы.	$R_S, 10^{-10} \text{ м}^3/\text{Кл}$	$\rho, 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$	$\lambda_{SO}, 10^{-13} \text{ эрг}$
$Ni_{75}Fe_{24}Cr_{01}$	15.8	38	-0.05
$Ni_{75}Fe_{22}Cr_{03}$	32.6	65	-0.04
$Ni_{75}Fe_{20}Cr_{05}$	38.9	80	-0.03
$Ni_{75}Fe_{18}Cr_{07}$	35.1	92	-0.02
$Ni_{75}Fe_{15}Cr_{10}$	23.9	98	-0.01

Результаты вычисления показывают, что в ферромагнитном состоянии эффективный параметр спин-орбитального взаимодействия несколько меньше чем в парамагнитном состоянии [5]. Это свидетельствует о том, что в ферромагнитном состоянии в эффективный параметр спин-орбитального взаимодействия дают основной вклад спиновые рассеяния электронов проводимости.

Литературы.

1. Уайт. Р Квантовая теория магнетизма. Пер. с англ. 2-е изд., испр. и доп.-М.: Мир, 1985, 304 с..
2. Ведяев А.В., Грановский А.Б., Котельникова О.А. Кинетические явления в неупорядоченных сплавах. Изд. МГУ., 1992, стр. 44-47
3. Крупичка С . Физика ферритов и родственных им магнитных окислов. Т1. М.: Наука, 1976. – С. 68
4. Trudea M, Cochrane R.W., Baxter D.V., Strom-Olsen J.O., and Muir W.B. Positive Hall effect in paramagnetic amorphous Zn-Fe. Phys. Rev., v.37, N 9, 1988, p.4499-4502
5. O. K. Kuvandikov, N. S. Hamraev, R. M. Rajabov, A. A. Éshkulov Estimation of the effective parameter of spinorbital interaction of electrons in intermetallic Er-In system compounds from the kinetic and magnetic properties. Russian Physics Journal, 2012, Volume 54, Issue 12, pp 1384-1388

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Ф.И.О. Кувандиков Облокул Кувандинович

Место работы: Самаркандский госуниверситет им. А. Навои

Учёные степень, звание и должность: д. ф.-м.н., профессор и профессор кафедры общей физики и магнетизма

Служебный адрес: г.Самарканд, 140104, Университетский бульвар 15,СамГУ, Физфак.

Домашний адрес: г. Самарканд, ул. Беруни, пр.-1, дом 68^А

E-mail: quvandikov@rambler.ru

Телефоны: домашний: +998 662333382,
мобильный: +998 902821145

2. Ф.И.О. Ражабов Рустам Мустафаевич

Место работы: Самаркандский госуниверситет им. А. Навои

Учёные степень, звание и должность: к.ф.-м.н, доцент и зав. кафедры общей физики и магнетизма.

Служебный адрес: г.Самарканд, 140104, Университетский бульвар 15,СамГУ, Физфак.

Домашний адрес: г. Самарканд, ул. Зиёлилар, дом. 30, кв.2.

E-mail: rajabov_rus@rambler.ru

Телефоны: домашний:
мобилний: +998 94 537 72 11.

3. Ф.И.О. Мустафаева Муножат Олтинбековна

Место работы: Самаркандский госуниверситет им. А. Навои

Учёные степень, звание и должность: магистрант по направлению физика конденсированных сред и материалловедение.

Служебный адрес: г.Самарканд, 140104, Университетский бульвар 15,СамГУ, Физфак.

Домашний адрес: г. Самарканд, м. Мирзо Улугбек, ул. Профессорская дом.51, кв.38.

E-mail: akmal_1982@mail.ru

Телефоны: домашний:
мобилний: +998 91 536 01 85