

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ФЕРРОМАГНИТНОГО ПОЛУПРОВОДНИКА CaSr_2Se_4 В ОКРЕСТНОСТИ ТОЧКИ КЮРИ

А. А. Минаков, В. Г. Веселаго

УДК 538.6

Исследовано влияние легирования на величины критических индексов β , δ и χ ферромагнитного полупроводника CaSr_2Se_4 в окрестности температуры Кюри. На основе экспериментальных данных сделан вывод о наличии неоднородностей обменного взаимодействия вблизи примеси.

В ферромагнитных полупроводниках с общей формулой ASr_2X_4 (A - Cd, Hg; X - Se, S) парамагнитные и ферромагнитные точки Кюри θ и T_c существенно зависят от сорта диамагнитного катодона Δ^{2+} и аниона χ^{2-} /1,2/. Это обычно связывают с изменением суперобменных взаимодействий Sr-X - Sr и Sr - X - A - X - Sr при катионном и анионном замещениях. Так, например, в системе $\text{Cd}_{1-x}\text{Hg}_x\text{Sr}_2\text{Se}_4$ ферромагнитная точка Кюри T_c изменяется от 130°K до 106°K при изменении x от нуля до единицы, т.е. $\Delta T_c / \Delta x = 0,24^\circ\text{K}/\% /4/$.

В то же время, уже небольшие добавки примесей p- или n-типов (~1%) в таких ферромагнетиках приводят к изменению T_c на несколько градусов /3,4/ и еще более резкому изменению парамагнитной температуры Кюри θ /5/.

Так, в работе /4/ показано, что примесь p-типа в системе $\text{Cd}_{1-x}\text{Ag}_x\text{Sr}_2\text{Se}_4$ приводит к увеличению T_c ($\Delta T_c / \Delta x \sim 2,5^\circ\text{K}/\%$) и существенному локальному изменению обменных взаимодействий в некоторой окрестности примеси. Для объяснения этого результата можно предположить, что заряженная примесь изменяет локальные внутривещные поля и ковалентность связей, что приводит к изменению величин суперобменных взаимодействий. Возникающие при этом неоднородности обменного взаимодействия в полупроводнике с примесной зоной имеют размер порядка радиуса экраниро-

вания кулоновского потенциала примеси. Образование примесной зоны в $\text{Cd}_{1-x}\text{Ag}_x\text{Cr}_2\text{Se}_4$ происходит уже при $x \sim 0,003 \div 0,005$ /6/. Образующиеся неоднородности обменного взаимодействия (порядка нескольких десятков ангстрем) приводят к изменению характеристик фазового перехода в некоторой окрестности температуры Кюри T_c , когда радиус корреляции r_c , характеризующий размер флуктуаций намагниченности, сравним с размером неоднородностей обменного взаимодействия.

Целью настоящей работы было выяснение наличия таких неоднородностей в системе $\text{Cd}_{1-x}\text{Ag}_x\text{Cr}_2\text{Se}_4$. Для этого были проведены измерения характеристик фазового перехода вблизи температуры Кюри при $\tau = (T - T_c)/T_c$ в пределах от $5 \cdot 10^{-4}$ до 10^{-2} . При этом из соотношения

$$r_c = r_0 |\tau|^{-\nu}, \quad (I)$$

где r_0 - характерное расстояние, на котором затухают силы обменного взаимодействия (r_0 порядка нескольких ангстрем), ν - критический индекс (в теории скейлинга $\nu = 2/3$), следует, что $10 \text{ \AA} < r_c < 10^3 \text{ \AA}$, т.е. r_c сравним с предполагаемым размером неоднородностей.

Измерения проводились с помощью вибрационного магнитометра /7/ методом изломов намагниченности ("kink point method" /8,9/) на монокристаллических образцах.

Из зависимостей спонтанной намагниченности M_s и восприимчивости χ от температуры, а также намагниченности в точке Кюри от величины внутреннего поля H_{in} были получены критические индексы β , δ и γ , которые определяются из соотношений

$$M_s \sim |\tau|^\beta \quad (\tau < 0) \quad (2)$$

$$M \sim H_{in}^{1/\delta} \quad (\tau = 0) \quad (3)$$

$$\chi \sim \tau^{-\gamma} \quad (\tau > 0). \quad (4)$$

Из экспериментальных данных, которые приведены в таблице I, видно, что величины β и δ изменяются при увеличении концентрации x примеси. Изменения величины δ лежат в пределах ошибки измерений.

Таблица I

Зависимость величин β , δ и γ системы $\text{Cd}_{1-x}\text{Ag}_x\text{Cr}_2\text{Se}_4$ от концентрации примеси x при $5 \cdot 10^{-4} \leq \tau \leq 10^{-2}$

x	β	δ	γ
0	$0,43 \pm 0,01$	$4,7 \pm 0,1$	$1,23 \pm 0,05$
0,007	$0,44 \pm 0,01$	$4,6 \pm 0,1$	$1,25 \pm 0,05$
0,016	$0,48 \pm 0,02$	$4,4 \pm 0,1$	$1,27 \pm 0,05$
0,03	$0,5 \pm 0,02$	$4,2 \pm 0,2$	$1,25 \pm 0,05$

Полученные результаты свидетельствуют о наличии в системе неоднородностей обменного взаимодействия, сравнимых с радиусом корреляции флуктуаций r_c в исследованной области температур.

Для сравнения были проведены измерения критических индексов в системе при структурно изоморфном замещении Cd на Hg.

Как и следовало ожидать, в указанной области температур изменения критических индексов замечено не было; т.е. при замещении без изменения валентности (по крайней мере при концентрациях ртути до 10%) не возникают неоднородности, размер которых сравним с радиусом корреляции в системе при $5 \cdot 10^{-4} \leq \tau \leq 10^{-2}$.

В заключение авторы выражают благодарность В. Т. Калининскому, Т. Г. Аминову и Г. Г. Шабунинной за предоставление кристаллов, а также В. Е. Махоткину за интересные обсуждения.

Поступила в редакцию
20 июня 1977 г.

Л и т е р а т у р а

1. P. K. Baltzer, P. J. Wojtowicz, M. Robbins, E. Lopatin, Phys. Rev., 151, 367 (1966).
2. P. K. Baltzer, M. R. Robbins, P. J. Wojtowicz, J. Appl. Phys., 38, 953 (1967).

3. K. Minamatsu, K. Miyata, J. Phys. Japan, 31, 123 (1971).
4. А. А. Минаков, К. М. Голант, В. Е. Махоткин, Г. И. Виноградова, В. Г. Веселаго, ФТТ, 19, 2075 (1977).
5. А. Г. Гуревич, Д. М. Яковлев, В. И. Карпович, М. А. Винник, Э. В. Рубальская, ФТП, 9, 3 (1975).
6. M. Asafa, S. Matsumoto, T. Niimi, Japan, J. Appl. Phys., 15, 741 (1976).
7. К. М. Голант, В. Г. Веселаго, ИТЭ, № 4, 189 (1975).
8. A. Arrot, Phys. Rev. Lett., 20, 1029 (1968).
9. J. Nog, J. Jahanson. Int. J. Magnetism, 4, 11 (1973).