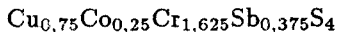


## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА СУЩЕСТВОВАНИЯ АФМОНОВ В АНТИФЕРРОМАГНИТНОМ ПОЛУПРОВОДНИКЕ



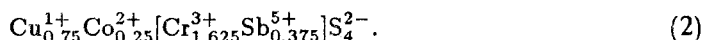
*Л.И.Королева, А.Г.Одинцов, М.Х.Машаев, Д.А.Сайфуллаева*

*Государственный университет им. М.В.Ломоносова  
119899 Москва, Россия*

Поступила в редакцию 17 мая 1993 г.

В антиферромагнитном (АФМ) полупроводнике  $\text{Cu}_{0,75}\text{Co}_{0,25}\text{Cr}_{1,625}\text{Sb}_{0,375}\text{S}_4$ , представляющем твердый раствор  $\text{CuCr}_{1,5}\text{Sb}_{0,5}\text{S}_4$  с шахматной АФМ структурой (парамагнитная температура Кюри  $\Theta = -156\text{K}$ ) и ферромагнетика  $\text{CoCr}_2\text{S}_4$ , обнаружено гигантское отрицательное магнитосопротивление  $\sim 16\%$  в поле 27 кЭ, сочетающееся с положительной величиной  $\Theta = 45\text{K}$ . Эти опытные факты свидетельствуют в пользу существования афмонов в этом соединении.

В нашей статье [1] был описан новый антиферромагнитный (АФМ) полупроводник  $\text{CuCr}_{1,5}\text{Sb}_{0,5}\text{S}_4$  и его твердый раствор с ферримагнетиком  $\text{CoCr}_2\text{S}_4$ . Оба соединения имеют структуру нормальной шпинели со следующим валентным распределением, полученным из рентгеновских данных:



Эти соединения обладают магнитными свойствами, характерными для антиферромагнетиков: линейной зависимостью намагниченности от величины магнитного поля  $H$  и максимумом восприимчивости при температуре Нееля  $T_N$  (23,7K для состава (1) и 32K для (2)). Парамагнитная восприимчивость обоих составов подчиняется закону Кюри-Вейсса с парамагнитной температурой Кюри  $\Theta = -156\text{K}$  для состава (1) и  $\Theta = 45\text{K}$  для состава (2).

В АФМ полупроводнике  $\text{Cu}_{0,75}\text{Co}_{0,25}\text{Cr}_{1,625}\text{Sb}_{0,375}\text{S}_4$  было обнаружено гигантское отрицательное магнитосопротивление  $\Delta\rho/\rho$ . На рис.1а приводится температурная зависимость магнитосопротивления (МС) этого образца. Видно, что здесь имеет место гигантское  $\text{MC} \sim 16\%$  в поле  $H = 27\text{кЭ}$ , при этом максимум его модуля наблюдается в районе 25K, температуре, занимающей промежуточное положение между температурами Нееля составов (1) и (2) (23,7 и 32K, соответственно). Следует заметить, что в поле 27кЭ, максимальном поле, в котором производились измерения, изотермы МС еще далеки от насыщения (рис.1b). В то же время в АФМ полупроводнике (1) МС практически отсутствует в пределах точности измерений  $\sim 0,01\%$ . Следует заметить, что эти два состава сильно различаются по величине  $\Theta$ : так, что в составе (1)  $\Theta = -156\text{K}$ , а в составе (2)  $\Theta = 45\text{K}$ . Гигантское отрицательное МС в составе (2) можно объяснить существованием в нем афмонов, квазичастиц, теоретически предсказанных Нагаевым [2].

Афмон – это новый тип автолокализованного состояния носителя заряда в АФМ полупроводниках с довольно высокими  $T_N$ , в которых свободные

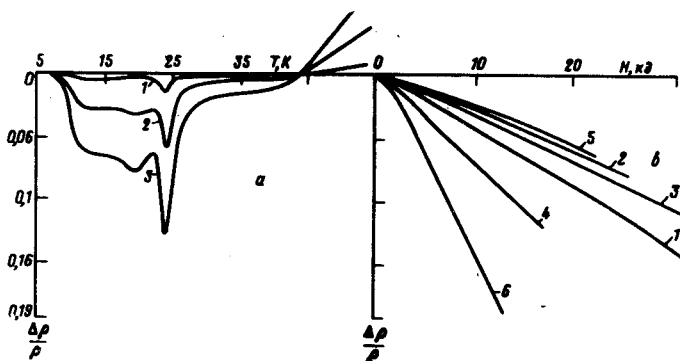


Рис.1. Состав  $\text{Cu}_{0,75}\text{Co}_{0,25}\text{Cr}_{1,625}\text{Sb}_{0,375}\text{S}_4$ ; а - температурная зависимость магнитосопротивления  $\Delta\rho/\rho$  для внешнего магнитного поля  $H = 1$  (1), 15 (2), 27 кЭ (3); б - зависимость  $\Delta\rho/\rho$  от  $H$  при  $T = 12,4$  (1), 15 (2), 19,2 (3), 20,4 (4) 22,8 (5) 24,1 К (6)

ферроны уже энергетически неэгожны. Нагаевым показано, что в таком антиферромагнетике потенциальной ямой для носителя заряда может быть АФМ фаза, отличающаяся от существующей в кристалле. Известно, что энергия носителя заряда в слоистой АФМ фазе ниже, чем в шахматной АФМ фазе, причем их разность может достигать нескольких десятых эВ. Поэтому в полупроводнике с шахматным АФМ упорядочением носитель заряда может автолокализоваться в микрообласти со слоистым АФМ упорядочением. Энергия такой квазичастицы (афмона) может быть еще понижена, если моменты подрешеток в ней будут скошены, вследствие чего у афмона появится магнитный момент. Однако большие скосы моментов подрешеток исключены условием энергетической невыгодности ферронов.

Поскольку в  $\text{CuCr}_{1,5}\text{Sb}_{0,5}\text{S}_4$  парамагнитная точка Кюри отрицательна и большая по абсолютной величине, этот антиферромагнетик, по-видимому, обладает шахматной АФМ структурой. Добавки  $\text{CoCr}_2\text{S}_4$  в это соединение, по-видимому, приводят к образованию в нем микрообластей со слоистой АФМ структурой типа афмонов, наличие которых существенно повышает  $\Theta$ . Это следует из следующих соображений. В ферримагнетике  $\text{CoCr}_2\text{S}_4$  моменты ионов  $\text{Cr}^{3+}$ , занимающих октаэдрические позиции, упорядочены ФМ. Они образуют подрешетку, момент которой упорядочен АФМ по отношению к моменту подрешетки ионов  $\text{Co}^{2+}$ , занимающих тетраэдрические позиции шпинельной структуры. Вероятно, добавки  $\text{CoCr}_2\text{S}_4$  в шахматный АФМ  $\text{CuCr}_{1,5}\text{Sb}_{0,5}\text{S}_4$  создают благоприятные условия для образования в последнем около ионов  $\text{Co}^{2+}$  микрообластей со слоистой АФМ структурой. Локализация носителей заряда в этих микрообластях будет способствовать их стабилизации, если энергия носителей ниже в указанной слоистой структуре, чем в основной шахматной.

Ранее нами была определена ширина запрещенной зоны в  $\text{CoCr}_2\text{S}_4$  измерений спектров коэффициента диффузного отражения. Энергия ширины запрещенной зоны оказалась равной  $\sim 0,9$  эВ. В данной работе подобные измерения были проведены для соединения (1). На рис.2 приводятся спектры коэффици-

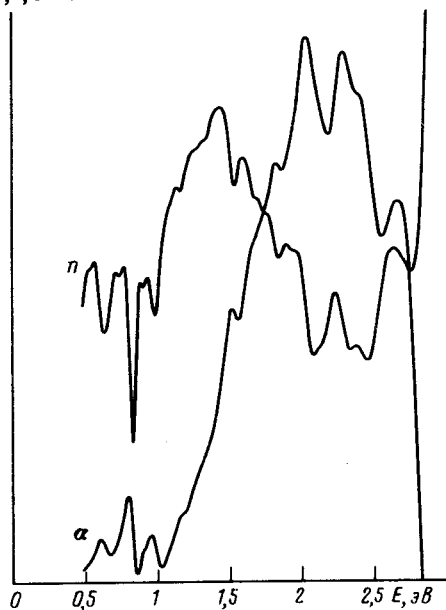


Рис.2. Спектры коэффициентов поглощения  $\alpha$  и преломления  $n$  соединения  $\text{CuCr}_{1,5}\text{Sb}_{0,5}\text{S}_4$  при комнатной температуре

ентов поглощения  $\alpha$  и преломления  $n$  состава (2), рассчитанные из спектров коэффициентов диффузного отражения с помощью соотношений Крамерса-Кронига. Как видно из рис.2, на спектре  $\alpha$  виден резкий подъем в области энергий  $1 \leq E \leq 2$  эВ, характерный для собственного поглощения, сопровождающийся максимумом  $n$  при  $E = 1,45$  эВ. Согласно Велицкому [4], именно это значение  $E$  следует считать шириной запрещенной зоны. Таким образом, в  $\text{CoCr}_2\text{S}_4$  энергия носителей заряда ниже, чем в  $\text{CuCr}_{1,5}\text{Sb}_{0,5}\text{S}_4$ . Следовательно, локализация носителей заряда в районе ионов  $\text{Co}^{2+}$  будет стабилизировать микрообласти со слоистой АФМ структурой, образуя афмонные состояния. Включение внешнего магнитного поля приводит к разрушению афмонов и делокализации носителей тока, находившихся в афмонах, то-есть к гигантскому отрицательному МС, которое и наблюдалось в  $\text{Cu}_{0,75}\text{Co}_{0,25}\text{Cr}_{1,625}\text{Sb}_{0,375}\text{S}_4$ . Резкое увеличение  $\Theta$  в составе (2) по сравнению с составом (1) указывает на существенный вклад положительных обменных взаимодействий в суммарный обмен кристалла, происходящий от микрообластей со слоистой АФМ структурой. Следует заметить, что этот вклад нельзя отнести за счет ферронов, поскольку их образование в данном АФМ полупроводнике невозможно из-за высокой температуры Нееля, более чем в два раза превышающей предельное значение  $T_N$  для АФМ, в котором возможно существование ферронов [5].

1. D.S.Filimonov, J.A.Kessler, L.I.Koroleva et al., Digests of the Sixth Intern. Conf. on Ferrites, Tokyo, Japan, 1992, p.341.
2. Э.Л.Нагаев, Письма в ЖЭТФ 55, 646 (1992).
3. К.П.Белов, Л.И.Королева, В.Ю.Павлов, А.Г.Темиряев, ФТТ 24, 2821 (1982).
4. V.Velisky, Czech. J. Phys. B11, 787 (1961).
5. Э.Л.Нагаев, Физика магнитных полупроводников. М.: Наука, 1979; E.L.Nagaev, Phys. of magnetic semicond. М.: Mir, 1983.