

Ферромагнетизм и переходы металл–диэлектрик в системе магнитных полупроводников $Fe_xMn_{1-x}S$

© Г.В. Лосева, Л.И. Рябинкина, А.Д. Балаев

Институт физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук, 660036 Красноярск, Россия

(Поступила в Редакцию 2 июля 1997 г.)

Сообщаются результаты исследований структуры, электрических и магнитных свойств в системе антиферромагнитных полупроводников $Fe_xMn_{1-x}S$ ($0 < x \leq 0.5$). Установлено, что переходы металл–диэлектрик по концентрации и температуре связаны с изменением магнитных свойств.

Ранее обнаружено [1,2], что в системе антиферромагнитных (AFM) полупроводников $Fe_xMn_{1-x}S$ по мере возрастания концентрации железа x изменяются электронное и магнитное состояния системы, реализуется концентрационный переход металл–диэлектрик (ПМД). Изучение систем магнитных полупроводников, созданных на основе двух моносльфидов 3d-ряда, содержащих магнитоактивные катионы, таких как $MnS-CrS$, $MnS-FeS$, $FeS-CrS$, $CoS-CrS$, показало [3], что катионное замещение в твердых растворах является одним из эффективных методов, с помощью которого можно не только регулировать параметры ПМД, но и существенно изменять их магнитные характеристики, а также создавать новые магнитные материалы с ПМД.

В настоящей работе сообщаются результаты изучения структуры, электрических и магнитных свойств системы AFM-полупроводников $Fe_xMn_{1-x}S$ с ПМД и взаимосвязи эффекта ПМД по концентрации и температуре с изменением магнитных свойств.

Образцы системы $Fe_xMn_{1-x}S$ ($0 < x \leq 0.5$) были получены методом вакуумированных кварцевых ампул из электролитического Mn, восстановленного Fe и серы чистоты 99.999% при 1233 К в течение недели путем катионного замещения. Синтез состава с $x \sim 0.3$ с особыми электрическими и магнитными свойствами [2] проводился неоднократно по одной и той же технологии.

Согласно данным рентгеноструктурного анализа, все исследуемые составы системы с $0 < x \leq 0.5$ в области температур 80–300 К представляли собой твердые растворы с ГЦК-решеткой α -MnS.

Измерения удельного электросопротивления ρ , проведенные четырехзондовым потенциометрическим методом на постоянном токе, показали, что с возрастанием x в системе реализуется ПМД по концентрации при $x_c \sim 0.4$ [1]. Из рис. 1 видно, что для состава с $x \sim 0.3$ с повышением температуры происходит плавная смена типа проводимости от полупроводника до полуметалла (ПМД по температуре) при $T > 700$ К с изменением энергии активации от 0.18 до 0.03 eV.

При увеличении концентрации железа x в матрице коллинеарного AFM (II тип) α -MnS возникает ферромагнетизм (FM) при $x_{cr} \sim 0.3$. Возникновение FM и сосуществование AFM и FM в исследуемых составах системы подтверждают экспериментальные факты:

возникновение петель гистерезиса спонтанного момента, наличие температуры Кюри, отклонение от линейности хода кривых полевой зависимости намагниченности при 300 К. Существование ферромагнитного обмена в системе подтверждает магнитная фазовая диаграмма, построенная на основе магнитных измерений и расчетов методом Монте-Карло [2].

Магнитные измерения показали, что по мере возрастания x от 0 до 0.2 температурное поведение магнитной восприимчивости (кривая $1/\chi(t)$) в области температур 80–700 К соответствует AFM. Однако низкотемпературные измерения намагниченности свидетельствуют о зарождении ферромагнетизма при достаточно малых концентрациях x , например, $x \sim 0.05$. На рис. 2 представлена температурная зависимость намагниченности для

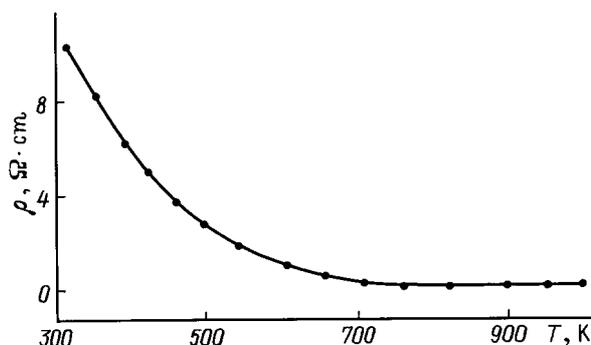


Рис. 1. Температурная зависимость удельного электросопротивления $Fe_{0.3}Mn_{0.7}S$.

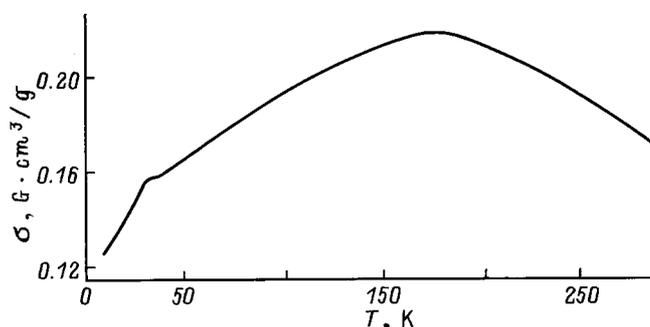


Рис. 2. Температурная зависимость намагниченности $Fe_{0.3}Mn_{0.7}S$ в магнитном поле 700 Oe.

состава $x \sim 0.3$. Измерение проведено на автоматизированном магнитометре со сверхпроводящим соленоидом в интервале температур 4.2–300 К в поле 700 Ое. Ход $\sigma(T)$ имеет низкотемпературную аномалию в области $35 < T < 40$ К. Подобная низкотемпературная аномалия при ~ 45 К обнаружена в изоструктурной с $Fe_xMn_{1-x}S$ системе AFM-полупроводников $Li_xMn_{1-x}Se$ [4]. Измерения магнитных свойств и нейтронографические исследования системы $Li_xMn_{1-x}Se$ позволили авторам сделать вывод о том, что эта низкотемпературная аномалия связана с формированием скошенной AFM-структуры с возникновением магнитного момента. Однако если в системе $Li_xMn_{1-x}Se$ возрастание x и T приводит к изменению AFM-упорядочения на FM при одновременной смене полупроводниковой проводимости на металлическую, то в системе $Fe_xMn_{1-x}S$ изменение электрических и магнитных свойств имеет свои особенности: 1) составы с $0 < x \leq 0.3$ являются примесными полупроводниками с зарождающимся ферромагнетизмом; 2) составы с $0.3 \leq x \leq 0.4$ — ферромагнитные полупроводники, в которых при возрастании температуры реализуется плавный высокотемпературный переход полупроводник–полуметалл в области температур ~ 700 – 1000 К; 3) составы с $0.4 \leq x \leq 0.5$ — ферромагнитные полуметаллы с температурой Кюри $T_c \sim 780$ К, которые переходят в металлы при $T \sim 1000$ К, т.е. в парафазе.

Таким образом, в системе $Fe_xMn_{1-x}S$ для $0 < x \leq 0.5$ реализуются ПМД по концентрации x и температуре T , которые связаны с изменением магнитных свойств. При этом в случае концентрационного ПМД ($x_c \sim 0.4$) магнитный переход AFM \rightarrow FM ($x_{cr} \sim 0.3$) предшествует ПМД. В случае температурного перехода с возрастанием x и T плавная смена типа проводимости в системе сопровождается магнитными превращениями AFM \rightarrow FM \rightarrow PM при сосуществовании AFM и FM.

Авторы выражают благодарность Г.А. Петраковскому и С.С. Аплеснину за обсуждение работы.

Список литературы

- [1] Г.В. Лосева, Л.И. Рябинкина, С.Г. Овчинников, О.А. Баюков. ФТТ **25**, 12, 3717 (1983).
- [2] Г.А. Петраковский, С.С. Аплеснин, Г.В. Лосева, Л.И. Рябинкина, К.И. Янушкевич. ФТТ **33**, 2, 406 (1991).
- [3] Г.В. Лосева, С.Г. Овчинников, Г.А. Петраковский. Переход металл–диэлектрик в сульфидах 3d-металлов. Наука, Новосибирск (1983). 144 с.
- [4] R.R. Heikes, T.R. McGuire, R.J. Happel. Jr. Phys. Rev. **121**, 3, 703 (1961).