

## ПЕРЕХОД МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК В СИСТЕМЕ АНТИФЕРРОМАГНИТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ $V_xMn_{1-x}S$

© Г.А.Петраковский, Г.В.Лосева, Л.И.Рябинкина,  
Н.И.Киселев, К.И.Янушкевич

Институт физики им. Л.В. Киренского  
Сибирского отделения Российской академии наук,  
660036 Красноярск, Россия  
(Поступила в Редакцию 25 января 1996 г.)

Ранее [1,2] показано, что в системах антиферромагнитных полупроводников  $Me_xMn_{1-x}S$  с ГЦК-решеткой  $\alpha$ -MnS, созданных путем катионного замещения марганца в  $\alpha$ -MnS 3d-металлом ( $Me = Cr, Fe$ ), реализуются концентрационные переходы металл-диэлектрик (ПМД), которые сопровождаются изменением типа магнитного упорядочения. Были рассмотрены неупорядоченные системы, созданные на основе сульфидов с локализованным магнитным моментом MnS и MeS, находящихся в центре ряда моносульфидов 3d-металлов. Система твердых растворов  $V_xMn_{1-x}S$  получена на основе MnS и VS (VS — парамагнитный полуметалл с высокотемпературным ПМД на краю ряда MeS [2]). Магнитные свойства составов с  $0 < x \lesssim 0.5$  этой системы сообщены в [2], нейтронографические исследования — в [3].

В настоящей работе изучаются электрические свойства неупорядоченной системы твердых растворов  $V_xMn_{1-x}S$  ( $0 < x \lesssim 0.5$ ), а также возможность реализации ПМД.

Исследовались поликристаллические образцы системы  $V_xMn_{1-x}S$ , полученные по технологии  $\alpha$ -MnS [2]. Согласно данным рентгеноструктурного анализа при 300 К, исследуемые составы имели кристаллическую структуру твердых растворов с ГЦК-решеткой типа  $\alpha$ -MnS с параметром  $(5.219-5.228) \pm 0.002 \text{ \AA}$ .

Удельное электросопротивление твердых растворов системы измерено в области температур 80–300 К на образцах, имеющих форму параллелепипеда, отожженных в вакуумированных кварцевых ампулах при 1000°C в течение 2 h.

На рис. 1 представлены температурные зависимости  $\lg \rho(1/T)$  для системы  $V_xMn_{1-x}S$  ( $0.05 \lesssim x \lesssim 0.5$ ). Известно, что  $\alpha$ -MnS является антиферромагнитным полупроводником ( $T_N \sim 150 \text{ К}$ ) с  $\rho_{300 \text{ К}} \sim 10^2 \Omega \cdot \text{см}$  и  $\rho_{80 \text{ К}} \sim 10^8 \Omega \cdot \text{см}$  и аномалией электросопротивления в области  $T_N$ , которая сопровождается уменьшением электросопротивления на шесть

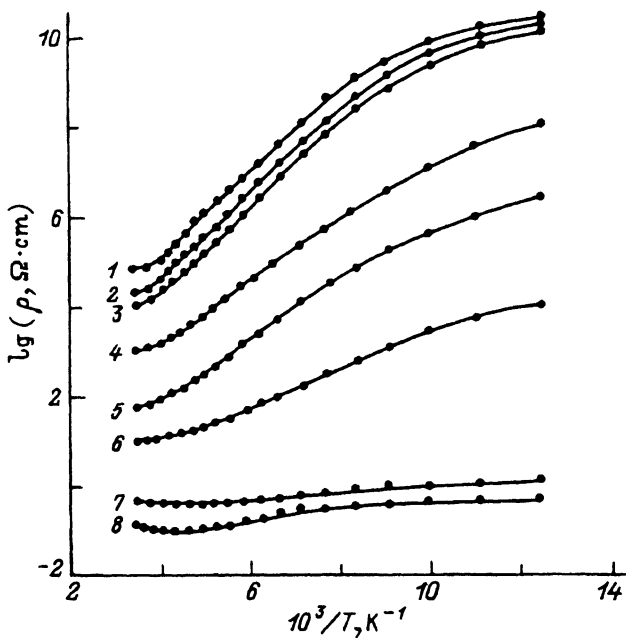


Рис. 1. Температурные зависимости удельного электросопротивления системы  $V_xMn_{1-x}S$ .

$x$ : 1 — 0.05, 2 — 0.1, 3 — 0.15, 4 — 0.2, 5 — 0.25, 6 — 0.3, 7 — 0.45, 8 — 0.5.

порядков, возрастанием энергии активации в парафазе на порядок до  $\sim 0.3 \text{ eV}$  [4].

Образцы системы  $V_xMn_{1-x}S$  ( $0 < x \lesssim 0.5$ ) сохраняют антиферромагнитный тип упорядочения с понижением  $T_N$  от 150 K ( $x = 0$ ) до 125 K ( $x \simeq 0.5$ ) [2].

Катионное замещение марганца в  $\alpha\text{-MnS}$  ванадием до  $x \simeq 0.05$  приводит к возрастанию величины удельного электросопротивления до  $\rho_{300\text{K}} \sim 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$  и  $\rho_{80\text{K}} \sim 10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ , при этом достигается максимальное значение  $\rho$  для системы. С возрастанием  $x$  от  $\sim 0.05$  до  $\sim 0.15$  удельное электросопротивление незначительно уменьшается в области температур 80–300 K, при этом температурный ход кривых  $\lg \rho(1/T)$  для этих составов сохраняется и типичен для полупроводников. Энергия активации электронов проводимости  $\Delta E$  в парафазе (150–250 K) уменьшается относительно величины  $\Delta E$  для  $\alpha\text{-MnS}$  в той же области температур и составляет  $\sim 0.19 \text{ eV}$ . С понижением температуры  $T < T_N$  в магнитоупорядоченной фазе наблюдается изменение наклона кривых  $\lg \rho(1/T)$  и уменьшение энергии активации до  $\sim 0.08 \text{ eV}$ , что позволяет предположить существование примесной проводимости перескокового типа в этой области температур [5].

Для составов с  $0.2 \lesssim x \lesssim 0.3$  наблюдается возрастание проводимости и уменьшение энергии активации  $\Delta E$  до  $\sim 0.14 \text{ eV}$  в парафазе ( $T > T_N$ ).

Анализ магнитной фазовой диаграммы системы  $V_xMn_{1-x}S$  ( $0 < x < 0.5$ ), построенной на основе экспериментальных данных с при-

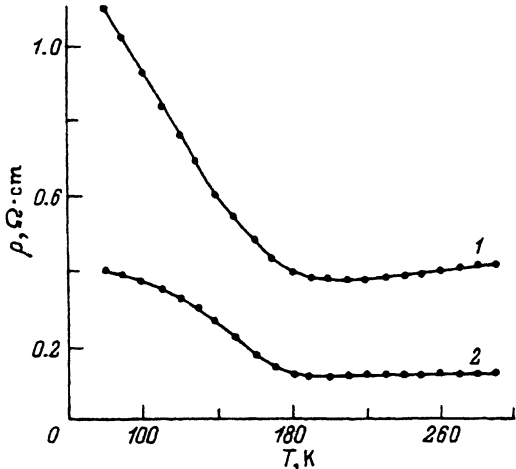


Рис. 2. Температурные зависимости удельного электросопротивления для  $V_{0.45}Mn_{0.55}S$  (1) и  $V_{0.5}Mn_{0.5}S$  (2).

влечением метода Монте-Карло [2], предполагает для  $x > 0.2$  уменьшение величины антиферромагнитного обмена и зарождение слабого положительного обменного взаимодействия между ионами марганца и ванадия во второй координационной сфере.

При последующем возрастании  $x$  до  $\sim 0.5$  наблюдается резкое падение электросопротивления на шесть порядков при 300 К и на десять порядков при 80 К относительно  $x \sim 0.05$ . Металлизация соединений с возрастанием  $x > 0.2$  приводит к безактивационной проводимости ( $\Delta E \sim 0.01$  eV) для  $x \gtrsim 0.45$ . Концентрационный ход кривых  $\lg \rho(1/T)$  для системы  $V_xMn_{1-x}S$  свидетельствует о том, что смена типа проводимости полупроводник-полуметалл имеет место для составов в области  $x_c \sim 0.5$ , т.е. реализуется концентрационный ПМД типа перехода Андерсона, типичный для неупорядоченных систем [5].

Согласно [1,2], смена типа антиферромагнитного порядка от второго к первому типу в системе  $V_xMn_{1-x}S$  происходит при  $x_{cr} \sim 0.3$ , т.е. предшествует ПМД. Как сказано выше, замещение марганца в  $\alpha$ -MnS железом и хромом также приводит к концентрационному ПМД в системах  $Me_xMn_{1-x}S$  ( $Me = Cr, Fe$ ) с изменением магнитных свойств.

На рис. 2 представлены температурные зависимости удельного электросопротивления для составов с  $x \sim 0.45$  и  $\sim 0.5$ . Из этого рисунка видно, что в области температур 150–180 К имеет место аномалия удельного электросопротивления, которая сопровождается изменением характера проводимости от полупроводникового до полуметаллического в парамагнитной фазе. Эта аномалия коррелирует с изменением магнитных свойств. Согласно измерениям обратной магнитной восприимчивости  $1/\chi(T)$  в поле 4.5 кОе, для  $x \simeq 0.45$  в этой области температур наблюдается изменение наклона в температурной зависимости  $1/\chi(T)$ , при этом парамагнитная температура Кюри уменьшается по абсолютной величине с понижением температуры и составляет  $\Theta = -330$  К в области  $T < \sim 180$  К и  $\Theta = -570$  К при  $T > 180$  К. Для состава с  $x \simeq 0.5$  изменение магнитных свойств в этой области температур значительно слабее.

Таким образом, в системе  $V_xMn_{1-x}S$  для  $0 < x \lesssim 0.5$  реализуется ПМД по концентрации при  $x_c \sim 0.5$ , которому, согласно [2], предшествует изменение типа антиферромагнитного порядка при  $x_{cr} \simeq 0.3$ . Для составов с  $0.4 < x \lesssim 0.5$  можно предположить существование ПМД по температуре, который реализуется в парамагнитной фазе. Для подтверждения этого предположения проводятся дополнительные исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Красноярского краевого фонда науки.

#### Список литературы

- [1] Petrakovskii G.A., Loseva G.V., Ryabinkina L.I., Aplesnin S.S. J. Magn. Mater. **140-144**, 147 (1995).
- [2] Петраковский Г.А., Аплеснин С.С., Лосева Г.В., Рябинкина Л.И., Янушкевич К.И., Баранов А.В. ФТТ **35**, 8, 2225 (1993).
- [3] Burlet P. Le titre de docteur es-sciences physiques. De L'Université de Grenoble (1968). 94 p.
- [4] Ryabinkina L.I., Loseva G.V. Phys. Stat. Sol. (a) **150**, 2, k23 (1995).
- [5] Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. М. (1982). Т. 1. 366 с.