

## ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ $\text{CoCr}_2\text{S}_{3.5}\text{Se}_{0.5}$ В ПЕРЕМЕННОМ ПОЛЕ

Э.А.Эйвазов, В.И.Гусейнов, Я.Н.Шарифов,  
А.Ф.Сафаров, С.Ш.Гурбанов

Азербайджанский государственный педагогический университет,  
370000 Баку, Азербайджан  
(Поступило в Редакцию 21 ноября 1994 г.)

Исследование разнообразных физических свойств магнитных полупроводников (МП) является одним из перспективных направлений физики твердого тела, так как подсистемы, ответственные за физические свойства в них, взаимосвязаны. Такая корреляция делает МП привлекательными в научном и практическом планах. Перекрестные эффекты, обусловленные указанной корреляцией, являются многообещающей основой для изготовления полупроводниковых приборов, управляемых внешними полями [1]. Одним из перспективных МП являются хромовые халькошпинели, которые поддаются катионному и анионному замещению в широком диапазоне и обладают сравнительно высокой температурой Кюри. Кинетические и магнитные свойства хромохалькошпинелей изучены многими авторами [2]. Однако практически все исследования проведены в постоянных полях, что не позволяет выявить, в частности, природу электропроводности. Сказанное особенно относится к высокоомным магнитным полупроводникам, так как статические методы сопряжены с определенными трудностями при исследовании электропроводности таких материалов. Литературные данные по электропроводности высокоомных хромохалькошпинелей в статических полях отчасти противоречивы. Так, например, согласно [3], в этих материалах перенос заряда осуществляется зонным механизмом, а данные [4] свидетельствуют в пользу перескокового механизма. Одним из надежных экспериментальных методов выявления механизма проводимости является исследование в переменных полях. Применительно к хромовым халькошпинелям такие исследования из литературы нам неизвестны.

Целью настоящей работы явилось изучение электропроводности  $\text{CoCr}_2\text{S}_{3.5}\text{Se}_{0.5}$  в переменном электрическом поле для выявления механизма переноса заряда.

Электропроводность была исследована резонансным методом в интервале температур  $140 \div 300$  К и частот  $(0.065 \div 12) \cdot 10^6$  Hz.

Однородные и однофазные образцы со шпинельной структурой были получены методом прямого синтеза из элементов. Режим синтеза и некоторые магнитные свойства  $\text{CoCr}_2\text{S}_{3.5}\text{Se}_{0.5}$  приведены нами ранее в [5]. Согласно [5],  $\text{CoCr}_2\text{S}_{3.5}\text{Se}_{0.5}$  является ферромагнетиком с температурой Кюри  $\sim 220$  К.

На рис. 1 приведена температурная зависимость электропроводности при разных частотах. Как видно, проводимость  $\text{CoCr}_2\text{S}_{3.5}\text{Se}_{0.5}$  в

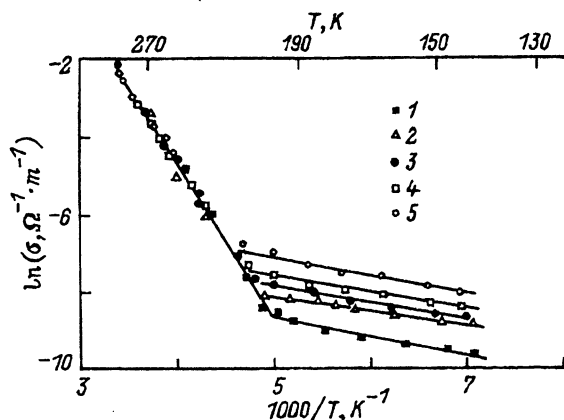


Рис. 1. Температурная зависимость удельной электропроводности  $\text{CoCr}_2\text{S}_{3.5}\text{Se}_{0.5}$  при различных частотах.  
 $f$  (МГц): 1 — 0.065, 2 — 0.5, 3 — 1, 4 — 6, 5 — 12.

интервале температур  $140 \div 300$  К обуславливается двумя активационными процессами. Температура перехода от первой области ко второй равна 220 К, что совпадает с температурой Кюри.

Указанное изменение электропроводности при магнитном фазовом переходе ферримагнетик-парамагнетик, вероятно, является следствием влияния магнитного порядка на энергетический спектр носителей заряда.

Энергии активации, найденные из наклона зависимости  $\ln \sigma = f(1/T)$  (рис. 1), не зависят от частоты и для ферримагнитной и парамагнитной областей соответственно равны 0.031 и 0.35 eV.

Из частотной зависимости электропроводности установлено, что электропроводность в магнитоупорядоченной области с увеличением частоты растет по закону  $\sigma \sim \omega^s$  ( $s = 0.31$ ), а в парамагнитной области не зависит от частоты внешнего электрического поля (рис. 2).

Выявленные особенности в частотной и температурной зависимости электропроводности свидетельствуют о сложном механизме переноса заряда в интервале температур  $140 \div 300$  К. В ферримагнитной области доминирующей является примесная проводимость, обусловленная наличием мелких донорных уровней, с энергией активации  $\sim 0.031$  eV. Такими уровнями могут быть уровни, соответствующие ионам  $\text{Co}^{2+}$  или анионным вакансиям [3].

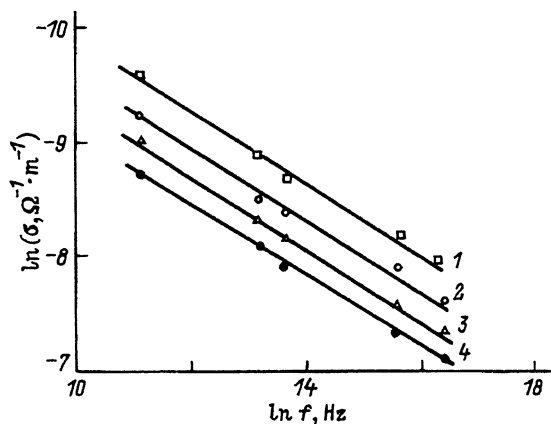


Рис. 2. Частотная зависимость удельной электропроводности  $\text{CoCr}_2\text{S}_{3.5}\text{Se}_{0.5}$  при различных температурах.  
 $T$  (К): 1 — 145, 2 — 167, 3 — 180, 4 — 200.

Сравнительно низкое значение  $s$  ( $\sim 0.31$ ) может быть объяснено мультиплетной моделью, т.е. тем, что в  $\text{CoCr}_2\text{S}_{3.5}\text{Se}_{0.5}$  существуют кластеры, содержащие локализованные состояния с близкой энергией и перескок электронов осуществляется между ними. В таком случае электрон за время полупериода колебания внешнего поля успевает совершить много прыжков между кластерами. Другими словами, он движется внутри некоторой области, размер которой уменьшается с увеличением частоты [6]. Однако если учесть, что характерным для мультиплетной модели является увеличение  $s$  с частотой, а в нашем случае такая зависимость не наблюдается, то вопрос о низком значении остается открытым.

Независимость электропроводности в парамагнитной области от частоты дает основание полагать, что при  $T > T_c$  проводимость  $\text{CoCr}_2\text{S}_{3.5}\text{Se}_{0.5}$  осуществляется переходами электронов из донорных уровней в зону проводимости, т.е. носит зонный характер.

Полученные результаты качественно удовлетворительно могут быть объяснены на основании общепринятой энергетической схемы хромохалькошпинелей, согласно которой в  $\text{CoCr}_2\text{S}_4$  полностью заполненная валентная зона и зона проводимости образованы из  $s$ - и  $p$ -состояния анионов и катионов соответственно [7]. Уровни трехвалентного иона хрома находятся внутри валентной зоны, далеко от потолка. В этой схеме ионам  $\text{Co}^{2+}$  соответствуют донорные уровни вблизи дна зоны проводимости. Отметим, что донорные уровни, соответствующие дефицитам анионов, также находятся вблизи дна зоны проводимости. При больших концентрациях доноров вблизи дна зоны проводимости может образовываться частично заполненная примесная зона.

В магнитоупорядоченной области из-за  $s-d$ -обмена происходит расщепление энергетических зон (уровней) по спину. Величина энергетической щели при этом с ростом температуры увеличивается и в точке Кюри становится равной разности между дном зоны проводимости и донорным уровнем ( $\sim 0.35$  eV). Очевидно, что в таком случае в точке Кюри характер электропроводности должен меняться, что нами и наблюдается в  $\text{CoCr}_2\text{S}_{3.5}\text{Se}_{0.5}$ .

Подытоживая вышеизложенное, можно заключить, что электропроводность  $\text{CoCr}_2\text{S}_{3.5}\text{Se}_{0.5}$  в ферримагнитной области носит перескоковый характер, а в парамагнитной — зонный.

#### Список литературы

- [1] Никитов В.А. Зарубеж. электр. техн. **12**(158), 3 (1977).
- [2] Пуркан В.В., Радауцан С.И., Тэзлэван В.Е. Магнитные полупроводники. Кишинев (1984). 116 с.
- [3] Watanabe T. Solid State Commun. **12**, 355 (1972).
- [4] Anado K., Nishihara Y. J. Phys. Chem. Sol. **41**, 1273 (1980).
- [5] Эйвазов Э.А., Гасумов Н.М., Рустамов А.Г., Сафаров А.Ф. Матер. V Всесоюз. конф. «Термодинамика и техника ферритов». Ивано-Франковск (1981). С. 79-81.
- [6] Брыксин В.В. ФТТ **22**, 8, 2441 (1980).
- [7] Auslender M.J., Bebenin N.G. Solid State Commun. **69**, 761 (1989).