

Рис. 2. Магнитная структура упорядоченной фазы La_2CuO_4 .

требует дополнительных экспериментальных данных для $\sigma_{21}(t)$ и $\sigma_{22}(t)$. Поведение $\sigma_1(t)$, $\sigma_{21}(t)$ и $\sigma_{22}(t)$ (рис. 1, кривые $d-f$) сильно отличается от квазидвумерного поведения намагниченности матрицы и близко к бриллюэновскому виду.

Таким образом, следует ожидать, что в рассматриваемом слоистом антиферромагнетике исходный магнитный порядок вблизи примеси трехмеризуется. На наш взгляд, значительный интерес представляет экспериментальное исследование такого «примесного» трехмерного магнитного упорядочения.

Авторы выражают благодарность А. А. Степанову за полезное обсуждение вопросов, затронутых в данной работе.

Список литературы

- [1] Физические свойства высокотемпературных сверхпроводников / Под ред. Д. М. Гинзберга. М.: Мир, 1990. 543 с.
- [2] Xiao G., Cieplak M., Xiao J., Chien C. // Phys. Rev. B. 1990. V. 42. N 13. P. 8752—8755.
- [3] Tang H., Xiao G., Singh A., Tسانovic Z., Cien C. L., Walker J. C. // J. Appl. Phys. 1990. V. 67. N 9. P. 4518—4520.
- [4] Дорошев В. Д., Криворучко В. Н., Савоста М. М., Шестаков А. А., Яблонский Д. А. // ЖЭТФ. 1992. Т. 101. № 1. С. 190—202.
- [5] Nowik I., Kaindl G., Bauminger E. R., Felner I., Kowitt M., Yaron U. // Solid State Commun. 1990. V. 74. P. 957—958.

Донецкий физико-технический институт
АН Украины

Поступило в Редакцию
18 сентября 1992 г.

УДК 621.375.82

© Физика твердого тела, том 35, № 3, 1993
Solid State Physics, vol. 35, N 3, 1993

АНОМАЛИИ ФОТОЭДС В ОБЛАСТИ ФЕРРОМАГНИТНОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ В HgCr_2Se_4

Р. Ю. Адушнаева, И. К. Больных, Г. Н. Север,
С. В. Наумов, А. А. Самохвалов

В ферромагнитном полупроводнике HgCr_2Se_4 ($T_c \sim 108$ К) обменное взаимодействие между локализованными $3d$ -электронами, ответственными за магнетизм, и свободными носителями заряда оказывает сильное влияние на кинетические эффекты — электропроводность, эффект Холла и др. Механизм этого взаимодействия в магнитных полупроводниках еще не совсем ясен. Большую дополнительную информацию могут дать исследования фотопроводимости (ФП) и фотоэдс (ФЭДС). Об обнаружении ФП в этом соединении сообщалось в [1—3]. В [3] изучалось влияние магнитного упорядочения на ФП

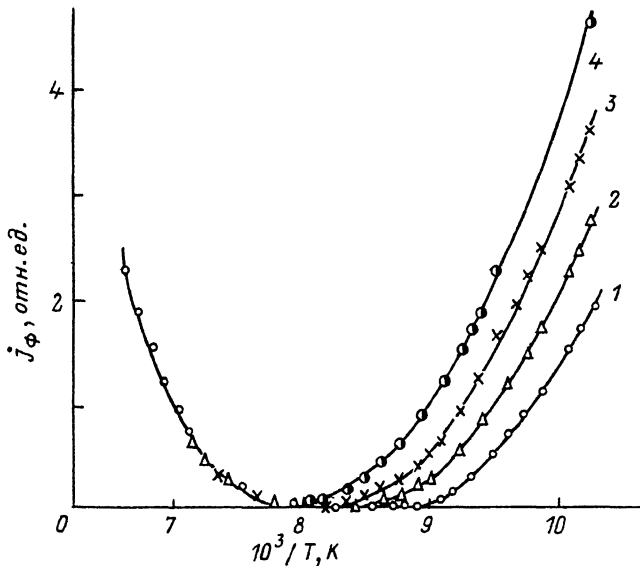


Рис. 1. Зависимость фототока j_ϕ от температуры в HgCr_2Se_4 для $H=0$ (1), 3 (2), 6 (3), 10 кЭ (4) и $h\nu=0.9$ эВ.

и наблюдались резко выраженные аномалии ФП в области магнитного фазового перехода. В частности, во внешнем магнитном поле ФП увеличивалась в несколько раз.

В настоящей работе сообщается об аномалиях ФЭДС в области ферромагнитного упорядочения в HgCr_2Se_4 . ФЭДС в этом соединении была обнаружена в спектральном интервале 0.5—2.5 эВ при температурах от 290 до 90 К. Изучались температурные и магнитопольевые зависимости ФЭДС в поле до 14 кЭ.

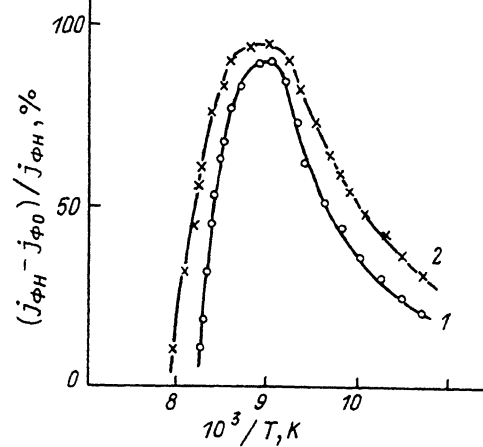
В опытах использовались высокоомные монокристаллические образцы HgCr_2Se_4 , полученные методом газотранспортных реакций [4] и отожженные в парах HgSe для уменьшения количества дефектов Hg и Se. Более детальные данные об их характеристиках приведены в [3].

Образцы освещались монохроматическим светом с энергией $h\nu$, большей ширины запрещенной зоны $E_g(T)$ соединения HgCr_2Se_4 во всем температурном интервале, чтобы избежать непосредственного влияния красного смещения края оптического поглощения [5]. Измерения проводились на переменном токе (частота модуляции света 80 Гц) с использованием селективного микровольтметра. Ввиду большого сопротивления образцов удобнее было измерять фототок j_ϕ , обусловленный наличием ФЭДС (сопротивление нагрузки R_n выбиралось гораздо меньше сопротивления образца R_0). Для улучшения отношения сигнал/шум использовался метод синхронного детектирования.

На рис. 1 показана зависимость $j_\phi(T)$ для температурной области 150—97 К и энергии $h\nu=0.9$ эВ. Что касается более высокотемпературной области, то с уменьшением температуры от 290 К величина j_ϕ вначале растет, затем при $T \sim 180$ К достигает максимального значения и далее уменьшается. Как видно из рис. 1, в районе температуры T_C наблюдается глубокий минимум фототока. При ферромагнитном упорядочении ($T < T_C$) фототок резко возрастает с понижением температуры.

Влияние внешнего магнитного поля на j_ϕ показано на рис. 1 для $H=3, 6, 10$ кЭ. В поле фототок возрастает, и участки резкого роста $j_\phi(T)$ сдвигаются

Рис. 2. Температурная зависимость отношения $(j_{\text{фн}} - j_{\text{ф0}})/j_{\text{фн}}$ в HgCr_2Se_4 для $H=3$ (1), 6 кЭ (2) и $h\nu=1.5$ эВ.



в сторону более высоких температур. Эффект четен по H ; зависимость $j_{\text{ф}}(H)$, полученная при 90 К, близка к линейной.

На рис. 2 показана температурная зависимость отношения $(j_{\text{фн}} - j_{\text{ф0}})/j_{\text{фн}}$ для $H=3$ и 6 кЭ ($j_{\text{фн}}$ и $j_{\text{ф0}}$ — значения фототока соответственно в поле и без поля). Это отношение целесообразно использовать в тех случаях, когда фототок $j_{\text{ф0}}(T_{\text{с}})$ сравним с уровнем шума. Из рис. 2 видно, что максимум этого отношения наблюдается в области $T_{\text{с}}$.

Благодаря использованию метода синхронного детектирования удалось определить относительное изменение фототока в поле $(j_{\text{фн}} - j_{\text{ф0}})/j_{\text{ф0}}$, которое достигало «гигантской» величины ($\sim 1600\%$ для $H=6$ кЭ и $T \sim 112$ К). Это отношение превосходит соответствующие изменения ФП и темновой проводимости (ТП) для данного образца [3]. Таким образом, ФЭДС оказывается более чувствительной к магнитному упорядочению по сравнению с ФП и ТП.

Результаты исследований могут быть объяснены большим вкладом фотоэлектронов в ФЭДС и влиянием магнитного упорядочения на их параметры. Как следует из расчетов зонной структуры соединения HgCr_2Se_4 (см., например, [6, 7]), электроны движутся в зоне проводимости, образованной $4s$ -состояниями Cr , т. е. по магнитным ионам Cr^{3+} . Дырки же движутся по немагнитным анионам Se^{-2} ($4p$ - Se). Поэтому взаимодействие фотоэлектронов с магнитной подсистемой более существенно, чем дырок. Расчеты подвижности электронов на основе совокупности данных об эффекте Холла, проводимости и поглощении света на свободных носителях тока [8, 9] дают минимум подвижности в области $T_{\text{с}}$ и ее сильный рост при понижении температуры. В теоретических работах [10, 11] аномалии подвижности объясняются рассеянием носителей на спиновых флуктуациях, магнитных моментах ферронов и т. д. Согласно [11], в области $T_{\text{с}}$ возможен захват фотоэлектронов неионизованными донорами, т. е. минимум времени жизни, который может приводить к минимуму ФЭДС.

На основе полученных данных можно сделать вывод о возможности использования ферромагнитного полупроводника HgCr_2Se_4 в принципиально новых приборах — фотоэлектрических приемниках излучения, управляемых внешним магнитным полем. Результаты исследования ФЭДС в HgCr_2Se_4 , свидетельствующие о сильном взаимодействии носителей тока с магнитными моментами ионов Cr^{3+} , могут быть использованы и при построении теории фотоэлектрических эффектов в магнитных полупроводниках.

Список литературы

- [1] Hadjiev V. G., Stoyanov S. G., Iliev M. N. // J. Phys. C. Solid State Phys. 1984. V. 17. N 10. P. 293—296.
- [2] Wakaki M., Yamamoto K., Onari S., Arai T. // Solid State Commun. 1982. V. 43. N 12. P. 957—959.
- [3] Адушнаева Р. Ю., Север Г. Н., Наумов С. В., Чеботаев Н. М. // ФТТ. 1991. Т. 33. № 7. С. 1930—1935.
- [4] Чеботаев Н. М., Симонова М. И., Арбузова Т. И., Гижевский Б. А., Самохвалов А. А. // Изв. АН СССР. Неорг. матер. 1959. Т. 21. № 1. С. 1468—1470.
- [5] Кунькова З. Э., Голик Л. Л., Паксеев В. Е. // ФТТ. 1983. Т. 25. № 6. С. 1877—1879.
- [6] Ауслендер М. И., Бебенин Н. Г. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 4. С. 945—951.

- [7] Голант К. М., Тугушев В. В., Юрин И. М. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 7. С. 2100—2110.
 [8] Самохвалов А. А., Гижевский Б. А., Лошкарева Н. Н., Арбузова Т. И., Симонова М. И., Чеботаев Н. М. // ФТТ. Т. 23. № 11. С. 3467—3469.
 [9] Гижевский Б. А., Самохвалов А. А., Костылев В. А., Лошкарева Н. Н., Сухоруков Ю. П., Арбузова Т. И., Чеботаев Н. М. // ФТТ. 1984. Т. 26. № 9. С. 2647—2650.
 [10] Naas C. // Phys. Rev. 1968. V. 168. N 2. P. 531—538.
 [11] Нагаев Э. Л. Физика магнитных полупроводников. М.: Наука, 1979. 432 с.

Московский государственный университет
 им. М. В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
 25 сентября 1992 г.

УДК 539.219.3

© Физика твердого тела, том 35, № 3, 1993
 Solid State Physics, vol. 35, N 3, 1993

ДИФФУЗИЯ УГЛЕРОДА В СЕЛЕНИДЕ МЕДИ

В. С. Зотов, В. М. Березин

Графитовые тигли используются для выращивания монокристаллов халькогенидов меди, а графитовые электроды находят применение при исследовании электрофизических и термодинамических свойств этих материалов [1]. В связи с этим исследование диффузии углерода в селениде меди представляет несомненный интерес.

Селенид меди — соединение переменного состава с широкой областью гомогенности — относится к классу суперионных материалов с аномально высокой ионной проводимостью по меди [2].

В настоящей работе приводятся результаты исследования диффузии углерода ^{14}C в моно- и поликристаллическом селениде меди. Монокристаллы состава $\text{Cu}_{1.8}\text{Se}$ выращивались методом Бриджмена—Стокбаргера [3]. Выбор состава $\text{Cu}_{1.8}\text{Se}$ обусловлен отсутствием в нем полиморфных превращений [1, 2], что позволяло получать довольно крупные кристаллы (~1 см), из которых выкалывались образцы для исследования диффузии. Аттестация образцов проводилась рентгеновским методом Лауэ. Поскольку вырастить крупные монокристаллы состава, близкого к стехиометрическому, не удалось, то использовались также поликристаллические прессованные образцы состава $\text{Cu}_{1.96}\text{Se}$.

Углерод наносился на плоскую полированную поверхность образца. После отжига образцы подвергались послойному радиометрическому анализу с измерением интегральной активности остатка (метод Грузина [4]). Кривые проникновения обрабатывались по методике [5, 6].

Отжиг образца с нанесенным углеродом проводился при трех различных температурах, соответствующих существованию суперионной α -фазы селенида меди: 425, 475, 523 К. Изменение времени отжига не влияло на величину коэффициента диффузии.

Температурная зависимость коэффициента диффузии углерода в монокристалле $\text{Cu}_{1.8}\text{Se}$ (см. рисунок, кривая 1) может быть описана соотношением

$$D = (5.5 \pm 0.6) \cdot 10^{-6} \exp \left[- \frac{(18 \pm 2) \text{ кДж/моль}}{RT} \right] \text{ см}^2/\text{с}.$$