

## ВЛИЯНИЕ ГОРЯЧИХ НОСИТЕЛЕЙ ТОКА НА СПЕКТРЫ КРС МАГНИТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$ и $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$ .

*А.А.Самохвалов, Ю.П.Сухоруков.*

Обнаружено влияние статического электрического поля на положение линии комбинационного рассеяния света (КРС) в монокристаллах магнитных полупроводников  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$  и  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$ . Показано, что на положение линии КРС оказывает влияние вклад, обусловленный взаимодействием фононов с магнонами, возбужденными горячими носителями тока.

Ранее, при исследовании магнитных и электрических свойств магнитных полупроводников в сильном электрическом поле было показано, что активное электрон-магнонное взаимодействие может приводить к новым явлениям, связанным с независимым возбуждением магнонов и фононов горячими носителями тока<sup>1, 2</sup>. Новую информацию в этом направлении можно получить при исследовании комбинационного рассеяния света (КРС) в магнитных полупроводниках в сильном электрическом поле.

Известно, что температурное изменение параметров КРС (частоты и интенсивности спектральных линий некоторых фононных мод) в магнитных полупроводниках типа  $\text{EuO}$  и  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$  подобно температурной зависимости спин-корреляционной функции<sup>3, 4, 5</sup>. Следовательно, по изменению параметров КРС в магнитных полупроводниках в сильном электрическом поле можно судить о взаимодействии фононной и магнонной систем с горячими носителями тока. С этой целью было исследовано температурное поведение частоты линии  $C((\Gamma_{12}^+))$   $152,8 \pm 0,3 \text{ см}^{-1}$  КРС магнитных полупроводников  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$   $p$ -типа с удельным электросопротивлением при 90К и  $\rho \sim 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ , температурой Кюри  $T_c = 130\text{К}$  и  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$   $\rho \sim 10^3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ ,  $T_c = 106\text{К}$ . Размер образцов –  $3 \times 4,5 \times 0,5 \text{ см}^3$ , температурный интервал измерений – 90 – 293К. Измерения производились в обратной геометрии рассеяния от ес-

тественной грани образца (плоскости (111)). Источником света служил He — Ne лазер с  $\lambda_L = 632,8$  нм и мощностью  $\sim 10$  мВт. В качестве спектрального прибора использовался ДСФ-24 с охлаждаемым фотоприемником. Образец изолировался от подложки пластинкой окиси бериллия. Электрические контакты на образец наносились индий-галиевой пастой. Постоянное электрическое поле подавалось на торцевые концы образца перпендикулярно направлению падения луча лазера. Одновременно контролировался ток и оценивалась мощность, падаваемая на образец.

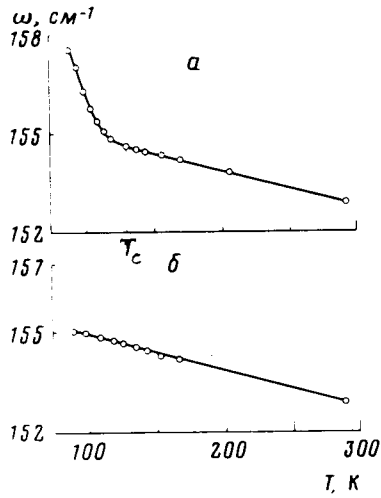


Рис. 1

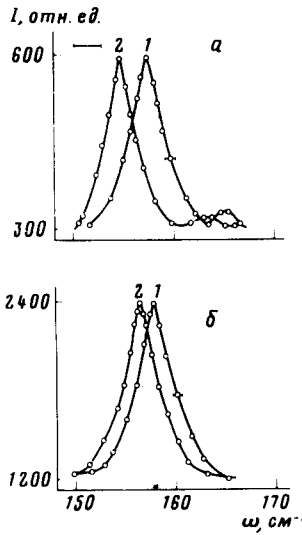


Рис. 2

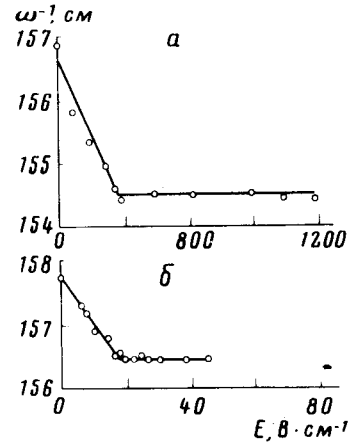


Рис. 3

Рис. 1. Температурная зависимость смещения линии КРС  $\omega_c$  для  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$ : а — при  $E = 0$ , б — при  $E = 420 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$

Рис. 2. Смещение линии С КРС в электрическом поле при  $T = 95\text{К}$ : а — для  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$ ; 1 —  $E = 0$ , 2 —  $E = 420 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$ ; б — для  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$ ; 1 —  $E = 0$ , 2 —  $E = 25 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$

Рис. 3. Зависимость смещения линии КРС  $\omega_c$  от электрического поля при  $T = 95\text{К}$ : а — для  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$ ,  $\rho \sim 10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , б — для  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$ ,  $\rho \sim 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{см}$

При понижении температуры от 293К до  $T_c$  наблюдается линейное смещение положения линии С (см. рис. 1, а) (подобно тому что наблюдалось в работе <sup>3</sup>), которое можно объяснить смещением фононной частоты за счет температурного сжатия кристалла. При  $T \lesssim T_c$  наблюдается излом кривой  $\omega_c(T)$  и в интервале температур от 130 до 95К для  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$  частота увеличивается на 2%. Изменение постоянной решетки на этом интервале составляет всего  $\sim 0,02\%$ , т. е. температурным сжатием решетки наблюдаемое смещение объяснить нельзя. Приложение электрического поля к образцам  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$  и  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$  и при  $T = 95\text{К}$  показало заметное смещение линии С без изменения ее интенсивности (см. рис. 2). Из рис. 3 видно, что при  $T < T_c$  с ростом поля линия С смещается и достигает  $\omega_c = 154,5 \text{ см}^{-1}$  при  $E = 380 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$  для  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$  и  $156,5 \text{ см}^{-1}$  при  $E = 18 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$  для  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$ , что соответствует частоте линии С в момент достижения образцами  $T_c$  при  $E = 0$ .

Полученные результаты можно объяснить, предполагая, что в результате взаимодействия горячих носителей тока с магнонами <sup>1</sup> происходит разогрев части спиновой системы, связанной с фононами, а следовательно, и уменьшение вклада рассеяния света, определяемого связью с магнонами. В данном случае эта часть спиновой системы разогревается горячими носителями тока до  $T_c$ . Дальнейшее увеличение поля в пределах ошибки никаких изменений в положении линии С не показывает. При  $T \gtrsim T_c$  приложенное электрическое поле не изменяет положения линии С, из чего можно заключить, что фононная система нагревается слабо. Излом кривой  $\omega_c(E)$  для  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$  наступает при значительно меньшем поле чем для  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$ , что можно связать с существенно более высокой подвижностью носителей тока в

$\text{HgCr}_2\text{Se}_4$ , чем в  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$ <sup>2</sup>. Очевидно, что при более высокой подвижности носителей тока разогрев спиновой системы происходит более эффективно.

Измерение  $\omega_c(T)$  для  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$  при  $E = 420 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$  показывает, что уже при 95К часть спиновой системы, связанной с фононами, нагревается до температуры выше  $T_c$  и никаких аномальных изменений при переходе через  $T_c$  не наблюдается как для  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$  (рис. 1, б), так и для  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$ .

Таким образом, исследования КРС в магнитных полупроводниках  $\text{CdCr}_2\text{Se}_4$  и  $\text{HgCr}_2\text{Se}_4$  в сильном электрическом поле свидетельствуют о независимом разогреве горячими носителями тока части магнетонной системы, оказывающей влияние на фонный спектр.

Авторы благодарят Бебенина Н.Г. за обсуждение работы.

#### Литература

1. Самохвалов А.А., Осипов В.В., Иваев А.Т., Калинин В.Т., Аминов Т.Г. Письма в ЖЭТФ, 1979, 30, 658.
2. Самохвалов А.А., Гижевский Б.А., Лошкарева Н.Н., Арбузова Т.И., Симонова М.И., Чеботаев Н.М. ФТТ, 1981, 23, 3469.
3. Steigmeier E.F., Harbeke G. Phys. Kond. Mat., 1970, 12, 1.
4. Güntherodt G., Merlin R., Grünberg P. Phys. Rev., 1979, B20, 2834.
5. Baltensperger W. Helv. Phys. Acta, 1968, 41, 668; J. Appl. Phys., 1970, 41, 1052.