

**АНОМАЛИИ ФОТОПРОВОДИМОСТИ
В ОБЛАСТИ ТОЧКИ КЮРИ СОЕДИНЕНИЯ $CdCr_2Se_4$,
СЛАБО ЛЕГИРОВАННОГО ГАЛЛИЕМ**

*К.П.Белов, Л.И.Королева, С.Д.Баторова, М.А.Шалимова,
В.Т.Калинников, Т.Г.Аминов, Г.Г.Шабунина, Н.П.Шапшева.*

В работе исследована фотопроводимость монокристаллических полупроводников состава $Cd_{1-x}Ga_xCr_2Se_4$ ($x=0,007$ и $x=0,01$) в зависимости от температуры и магнитного поля. Обнаружен минимум фототока и максимум отрицательного фотомagnetосопротивления в области температуры Кюри. Делается предположение о трех возможных причинах этих экстремумов: 1) захват фотоэлектронов в районе точки Кюри магнитными поляронами; 2) рассеяние фотоэлектронов на магнитных поляронах; 3) спин – разупорядоченное рассеяние фотоэлектронов в районе точки Кюри.

В настоящей работе была исследована фотопроводимость монокристаллических ферромагнитных полупроводников состава $Cd_{1-x}Ga_xCr_2Se_4$ ($x = 0,007$ и $x = 0,01$) в зависимости от температуры и магнитного поля. Нами обнаружены разные аномалии фотопроводимости этих составов в области точки Кюри.

Монокристаллы были выращены методом химических транспортных реакций. Образцы имели форму правильных октаэдров с размером ребра от 0,3 до 1 мм. Омические контакты создавались вплавлением индия или втиранием индий-галлиевой пасты, причем их сопротивление было $< 10\%$ от сопротивления образца.

Измерение фотопроводимости производилось методом вольт-амперметра с вольтметром электростатической системы, так как сопротивление образцов было $\lesssim 10^8$ ом. Точность измерения R была выше 6%.

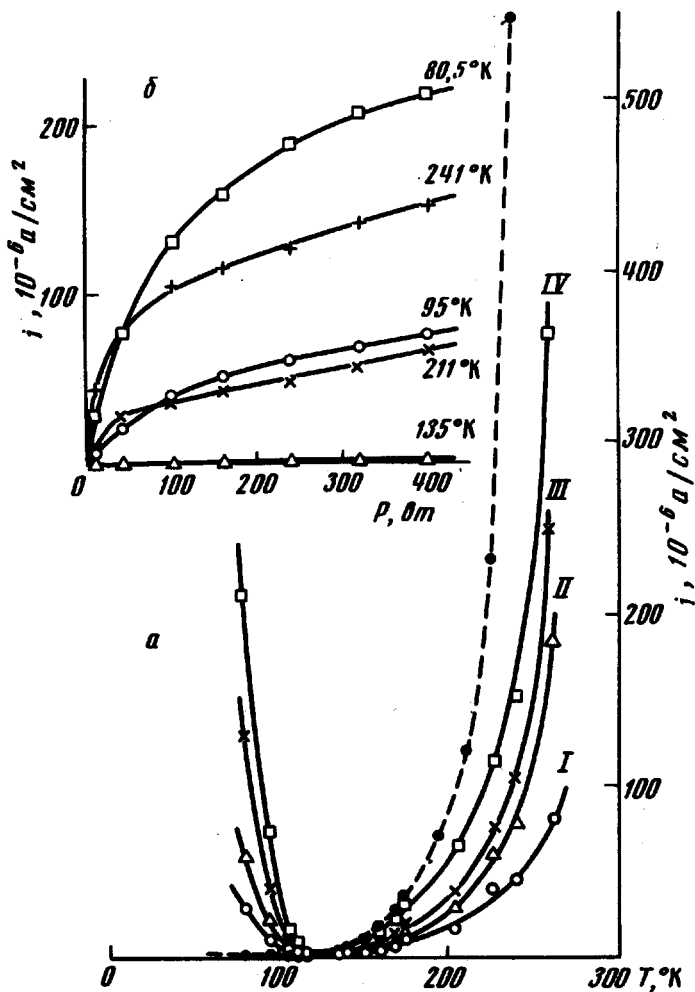


Рис. 1. Образец $\text{Cd}_{0,99}\text{Ga}_{0,01}\text{Cr}_2\text{Se}_4$: *a* – температурная зависимость плотности фототока j (напряжение 30 в) при разных мощностях осветительной лампы I – 8 вт, II – 40 вт, III – 100 вт, IV – 400 вт. Пунктирной линией показана плотность темнового тока; *b* – зависимость фототока от мощности лампы для разных температур

Во время измерений находящийся в вакууме образец освещался электролампой накаливания, мощность которой регулировалась от 0 до 400 вт. При измерениях темнового тока криостат тщательно затемнялся. Грубая оценка области фотопроводимости с помощью паспортизованных стекол есть 1000 – 1400 мкм (1,24 – 0,886 эв). Для исключения фотопроводимости в контактах последние покрывались черным лаком. В этом случае фотопроводимость во всем исследованном интервале температур оставалась такой же, как и при открытых контактах. Различная химическая и механическая обработка поверхности также не вызвали изменения фотопроводимости. Было также изучено влияние света на проводимость нелегированного соединения CdCr_2Se_4 . Во всем исследованном

интервале температур фототок составлял не более 20% от темнового тока, поэтому, по-видимому, изученная нами фотопроводимость является примесной и объемной.

На рис. 1, а показана температурная зависимость плотности фототока j при напряжении 30 в образца состава с $x = 0,01$ при разных мощностях осветительной лампы. На том же рисунке приводится плотность темнового тока (пунктирная кривая). Видно, что в районе температуры Кюри $129,5^\circ\text{K}$ кривые $j(T)$ имеют глубокие минимумы. Ниже температуры Кюри, например, при 77°K , фототок примерно на два порядка выше темнового тока, тогда как выше точки Кюри — приблизительно меньше на один порядок. На рис. 1, б приводится зависимость фототока от мощности лампы для разных температур. Аналогичный характер имеют кривые для состава с $x = 0,007$, только фотопроводимость оказывается на 1 — 0,5 порядка ниже, чем для состава с $x = 0,01$.

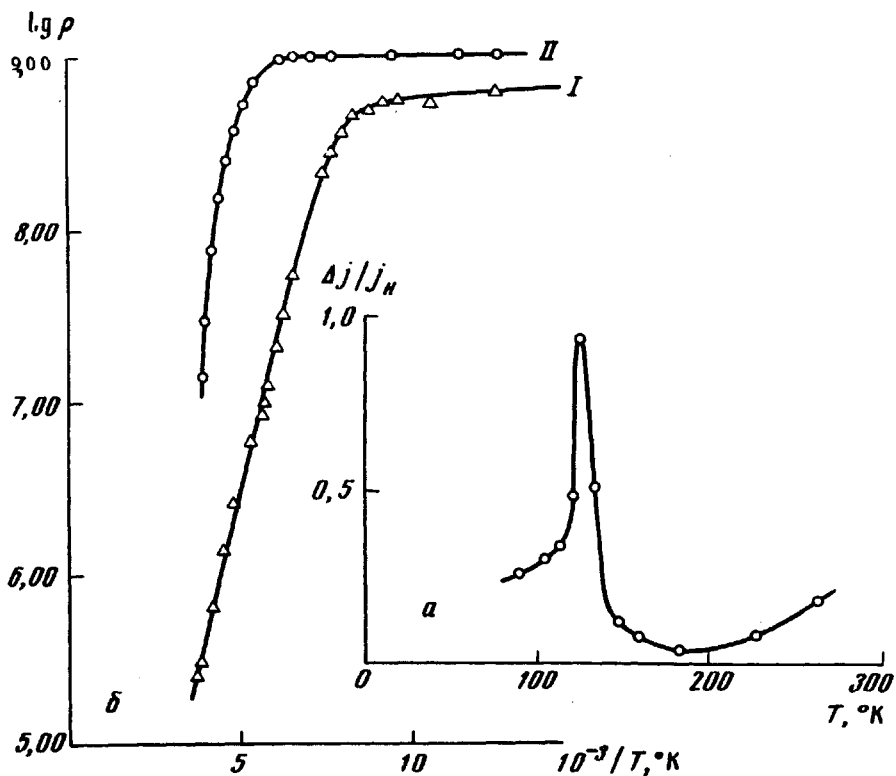


Рис. 2. а — Образец $\text{Cd}_{0,99}\text{Ga}_{0,01}\text{Cr}_2\text{Se}_4$; температурная зависимость относительного изменения фототока в магнитном поле $\Delta j/j_H$ ($H = 6,65 \text{ кэ}$), б — зависимость логарифма удельного сопротивления ρ от обратной температуры образцов состава: I — $\text{Cd}_{0,99}\text{Ga}_{0,01}\text{Cr}_2\text{Se}_4$; II — $\text{Cd}_{0,993}\text{Ga}_{0,007}\text{Cr}_2\text{Se}_4$

На рис. 2, а приводится температурная зависимость относительного изменения фототока в магнитном поле $\Delta j/j_H$ (при $H = 6,65 \text{ кэ}$). Здесь j_H — плотность фототока в магнитном поле, а $\Delta j = j_H - j_{H=0}$. Легко видеть, что отношение $\Delta j/j_H$ есть не что иное, как магнетосопротивление образца по отношению к фотоэлектронам, взятое с обратным знаком. Как видно из рисунка, величина $\Delta j/j_H$ максимальна в районе

температуры Кюри; здесь фототок возрастает почти в два раза при включении магнитного поля $H = 6,65$ кэ.

На рис. 2, б приводится зависимость логарифма удельного сопротивления ρ изученных образцов от обратной температуры. Величина ρ определялась как отношение приложенного к образцу напряжения к плотности темного тока, умноженной на длину образца. На рисунке видно, что в точке Кюри имеется весьма резкий излом прямых $\lg \rho (1/T)$, однако не наблюдается максимума, найденного в работе [1] для горячепрессованного образца $\text{Cd}_{0,98}\text{Ga}_{0,02}\text{Cr}_2\text{Se}_4$.

Мы полагаем, что обнаруженный нами эффект уменьшения фотопроводимости в области точки Кюри вызывается, в основном, возникновением магнитно-поляронных состояний в области точки Кюри, теоретически предсказанных в работах [2 – 4]. По-видимому, значительно ниже точки Кюри нерегулярные ионы или дефекты решетки являются центрами прилипания для фотоэлектронов, тогда как в районе Кюри эти ионы становятся центрами рекомбинации – фотоэлектроны локализуются в области примесных ионов, поддерживая вокруг них магнитный порядок. Возможно и рассеяние фотоэлектронов на магнитных поляронах, теоретически предсказанное в работе [5]. Тогда понятно сильное влияние магнитного поля в районе точки Кюри на фототок, препятствующего разрушению магнитного дальнего порядка.

В работах по изучению фотопроводимости [6, 7], а также поглощения и отражения света [8, 9] в чистом и легированном $\text{InCdCr}_2\text{Se}_4$ были найдены, в основном, два пика поглощения: один узкий (I) при $1,2-1,3\text{ эВ}$ и другой размытый при $1,8 - 2\text{ эВ}$ (II). Пик II обычно считают шириной запрещенной зоны. Первый узкий пик имеет довольно большое красное смещение (на $\sim 0,2\text{ эВ}$ при понижении температуры от 150 до 77°K).

По-видимому, за описанную в настоящей работе фотопроводимость ответственно поглощение именно в области пика I.

Красное смещение пика I также способствует уменьшению фототока при приближении к точке Кюри со стороны низких температур, однако возрастание фототока выше точки Кюри не может быть связано с пиком I, так как его голубое смещение крайне мало.

Уменьшать фотопроводимость в области точки Кюри может и спинразупорядоченное рассеяние, рассмотренное Хаасом [10] для объяснения максимума сопротивления в точке Кюри соединений CdCr_2Se_4 и CdCr_2S_4 n-типа.

В заключение выражаем благодарность Э.Л.Нагаеву и А.П.Григину за обсуждение работы.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
3 июля 1974 г.

Литература

- [1] С. Haas, A.M.J.G. van Run, P.F. Bongers, W. Albers. Solid. State Comm., 5, 657, 1967.
- [2] A. Vanase, T. Kasuya. J. Phys. Soc. Japan., 25, 1025, 1968.

- [3] М.А. Кривоглаз, А.А.Трущенко. ФТТ, 11, 3119, 1969.
- [4] Э.Л.Нагаев. ЖЭТФ, 56, 1013, 1969; ФТТ, 11, 3438, 1969.
- [5] А.П.Григин, Э.Л.Нагаев. Письма в ЖЭТФ, 16, 438, 1972.
- [6] К.Sato, Т.Teranishi, J.Phys. Soc. Japan. 29, 523, 1970.
- [7] A.Amith, S.B.Berger, J.Appl. Phys., 42, 1472, 1971.
- [8] G.Harbecke, H.W.Lehmann. Solid. State Comm. 8, 1281, 1970.
- [9] G.Harbecke, H.Pinch. Phys. Rev. Lett., 23, 438, 1966.
- [10] C.Haas. IBM J. Res. Develop, 14, 282, 1970.
-