

Влияние интенсивности излучения на спектр краевого поглощения ферромагнитного полупроводника CdCr_2Se_4

© Л.Л. Голик, З.Э. Кунькова

Институт радиотехники и электроники Российской академии наук,
141120 Фрязино, Россия

(Получена 8 октября 1998 г. Принята к печати 10 ноября 1998 г.)

В области температур 100–130 К исследовано влияние интенсивности падающего лазерного излучения на спектральные зависимости поглощения циркулярно поляризованного света в монокристаллах CdCr_2Se_4 в области края поглощения. Обнаруженное сильное изменение формы края связывается с обострением экситонного резонанса вследствие экранирования фотовозбужденными носителями заряда внутренних электрических полей в кристалле.

Ферромагнитный полупроводник CdCr_2Se_4 является одним из немногих соединений, в которых обнаружен сильный нелинейный эффект Фарадея [1,2]. Нелинейный эффект имеет место при температурах, меньших 150 К, и наблюдается как в ферро-, так и в парамагнитной фазах. В работе [2] показано, что нелинейное фарадеевское вращение (ФВ) имеет место в узкой полосе энергий вблизи края собственного поглощения. Высказано предположение, что увеличение ФВ с ростом интенсивности падающего излучения связано с обострением экситонного резонанса вследствие экранирования фотовозбужденными носителями заряда внутренних электрических полей флуктуационного потенциала [2]. С целью проверки этого предположения в данной работе исследовано влияние интенсивности падающего излучения на спектральные зависимости поглощения циркулярно поляризованного света в монокристаллах CdCr_2Se_4 в области края собственного поглощения. Отметим, что влияние мощной лазерной подсветки на поглощение света в CdCr_2Se_4 при $T = 300$ К исследовалось в работе [3]. Однако считается, что при $T \cong 200$ К в CdCr_2Se_4 меняются природа уровней, формирующих дно зоны проводимости, и электронные переходы, ответственные за край поглощения [4,5].

Исследования проводились на пластинках размером 1.5×2 мм и толщиной 12 мкм, полученных шлифовкой и полировкой монокристаллов. Использовалась однолучевая методика. Источником излучения был перестраиваемый лазер на F_2^+ -центрах окраски в LiF, возбуждаемый второй гармоникой неодимового лазера. Область перестройки лазера 830–1030 нм, пиковая мощность генерации в максимуме перестроечной кривой составляет 25 кВт, длительность импульса излучения 9 нс, частота генерации 10 с^{-1} . Луч лазера, ослабленный комбинацией нейтральных светофильтров, фокусировался на поверхность образца, находящегося в вакуумном криостате, в пятно диаметром порядка 1 мм. Измерения проводились на автоматизированной установке, описанной в работе [2], в качестве приемника излучения использовался фотоумножитель 18ЭЛУ-ФК. Исследования выполнены в интервале температур 110–130 К в магнитном поле $H = 4.8 \text{ кЭ}$, насыщающем образец в фер-

ромагнитной фазе. Использовались образцы CdCr_2Se_4 , на которых в работе [2] исследовалось нелинейное ФВ. Оптическая плотность при низкой интенсивности излучения (D_L) вычислялась с использованием величин сигналов с фотоприемника при наличии и в отсутствие образца на пути луча лазера с учетом пропускания соответствующих светофильтров и отражения от поверхностей образца. Оптическая плотность при высокой интенсивности излучения (D_H) вычислялась по формуле $D_H = D_L + \ln(I_L/I_H)$, где I_L и I_H — величины сигналов для случаев расположения одной и той же комбинации светофильтров до и после исследуемого кристалла соответственно. Зависимость коэффициента отражения образца от интенсивности излучения не учитывалась.

Спектральные зависимости оптической плотности CdCr_2Se_4 для право- и левоциркулярно поляризованного света (соответственно D_+ и D_-) при двух уровнях интенсивности падающего излучения, измеренные при $T = 110$ К, показаны на рис. 1. На вставке показана спектральная зависимость мощности излучения используемого лазера $P(h\nu)$. Низкий уровень интенсивности излучения (кривые I, I') соответствовал плотности мощности излучения в максимуме зависимости $P(h\nu)$, $P_{\max} = 10 \text{ кВт/см}^2$. Зависимости $D_{L+}(h\nu)$, $D_{L-}(h\nu)$, измеренные с использованием монохроматора и лампы накаливания, в пределах ошибки измерений совпадают с зависимостями I, I' (рис. 1). Для зависимостей $2, 2'$ плотность мощности излучения, падающего на образец, на каждой длине волны в 47 раз больше ($P_{\max} = 470 \text{ кВт/см}^2$). Как следует из рис. 1, наблюдается заметная деформация спектральных зависимостей оптической плотности при высокой мощности падающего излучения. Край поглощения на зависимости $D_{H+}(h\nu)$ (кривая 2) становится более резким и сопровождается просветлением образца для меньших и затемнением для больших энергий. На зависимости $D_{H-}(h\nu)$ (кривая $2'$) наблюдается рост поглощения, кроме того на краю поглощения появляется слабо выраженный пик. Изменения коэффициента поглощения циркулярно поляризованного света с ростом интенсивности излучения при более высоких T аналогичны зависимостям $2, 2'$ (рис. 1), однако величины изменений уменьшаются с

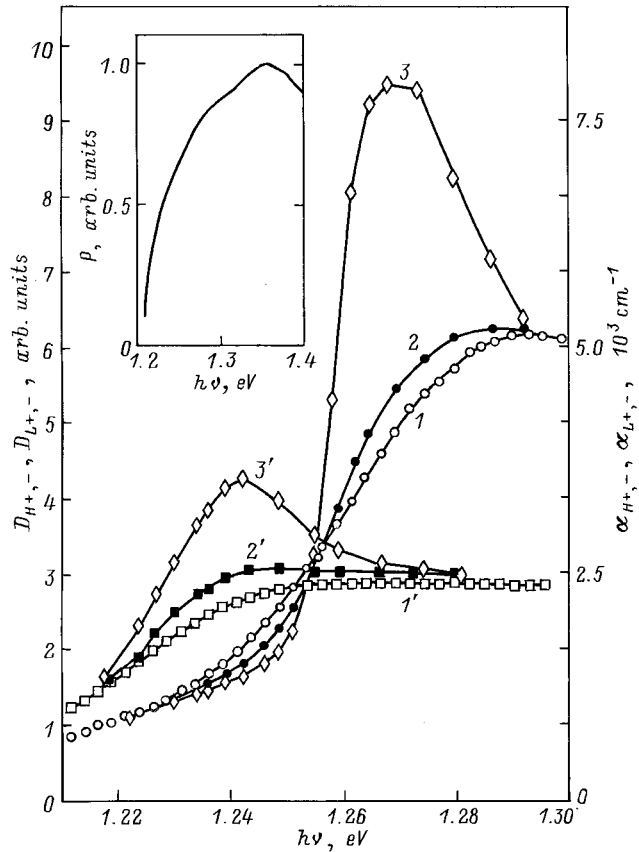


Рис. 1. Спектральные зависимости оптической плотности ($1, 1', 2, 2'$; левая ось координат) и коэффициента поглощения ($1, 1', 3, 3'$; правая ось координат) для право- ($1-3$) и левоциркулярно поляризованного света ($1'-3'$), измеренные при разных интенсивностях падающего на образец излучения P_{\max} , кВт/см²: 10 ($1, 1'$) и 470 ($2, 2', 3, 3'$); температура измерения $T = 110$ К. На вставке — спектральная зависимость мощности излучения используемого лазера.

ростом температуры. Так как край поглощения CdCr_2Se_4 при понижении T испытывает сильный сдвиг в сторону меньших энергий [6,7], где резко уменьшается интенсивность излучения используемого лазера, температурный диапазон измерений ограничен снизу $T = 100$ К. На рис. 2 представлены осциллограммы сигналов, пропорциональных интенсивности света, прошедшего через кристалл CdCr_2Se_4 и светофильтр, когда светофильтр расположен до (I) и после (I') кристалла. Осциллограммы записаны в области просветления образца. Здесь же показана зависимость величины нелинейной части ФВ от момента времени измерения на протяжении импульса излучения. Видно, что относительные величины изменения пропускания и нелинейно ФВ нарастают на протяжении импульса излучения. Подобие временных зависимостей нелинейностей в ФВ и в поглощении свидетельствует об общности природы эффектов. Зависимости $D_{H+,-}(h\nu)$ и $D_{L+,-}(h\nu)$ (рис. 1) соответствуют моменту времени $t = 6$ нс на осциллограммах.

На зависимостях $D_{L+,-}(h\nu)$ не проявляются резонансные пики на краю поглощения, наблюдавшиеся в работе [7], что, по-видимому, свидетельствует о более низком качестве кристаллов, исследовавшихся в данной работе. На это же указывает различие в величинах удельного ФВ при слабой интенсивности излучения в максимуме рассматриваемой полосы ФВ в работах [2] и [7]. При анализе зависимостей $D_{H+,-}(h\nu)$ необходимо учесть следующие факторы. Во-первых, в соответствии с кривой $P(h\nu)$ (рис. 1) разным энергиям фотонов соответствуют различные интенсивности падающего излучения. Отсутствие просветления кристалла в левоциркулярно поляризованном свете, возможно, связано с недостаточной интенсивностью излучения лазера вблизи длинноволновой границы области перестройки. Во-вторых, в большей части исследуемого спектрального диапазона величины $D_{H+,-} > 1$, и плотность фотовозбужденных носителей заряда сильно неоднородна по толщине образца. Оценка диффузионной длины (L_D) с использованием величин подвижности $\mu_n \approx \mu_p \approx 10$ см²/(В·с) [8,9] и времени жизни неравновесных носителей заряда $\tau \approx 10^{-8}-10^{-7}$ с, что реалистично для высокоомных компенсированных кристаллов CdCr_2Se_4 , дает $L_D \approx 1$ мкм. Следовательно, неоднородность не может устраняться за счет диффузии. Если нелинейное ФВ и нелинейное поглощение в CdCr_2Se_4 связаны с появлением неравновесных но-

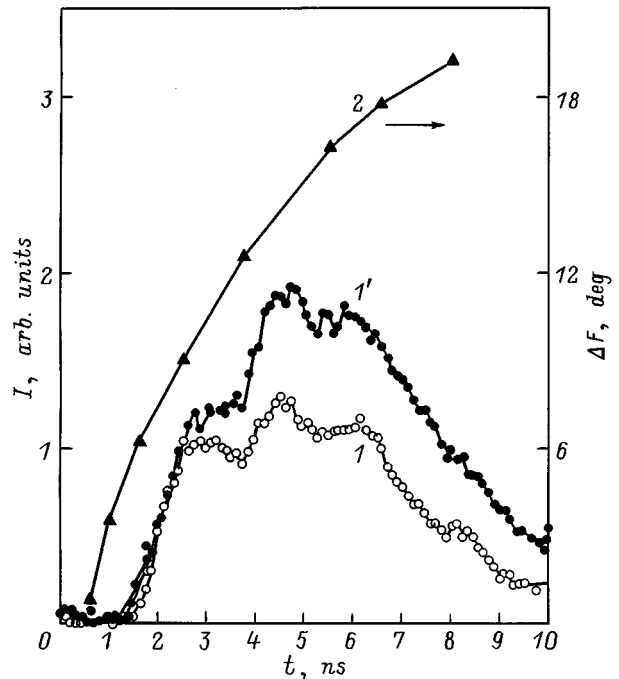


Рис. 2. Осциллограммы, полученные для правоциркулярно поляризованного излучения с $h\nu = 1.246$ эВ при низкой (I) и высокой (I') интенсивностях падающего на образец излучения P_{\max} , кВт/см²: 10 (I) и 470 (I'); 2 — зависимость нелинейной части фарадеевского вращения (ΔF) от момента времени измерения для $h\nu = 1.265$ эВ (сдвинута влево на 1.5 нс относительно осциллограмм I, I'). Температура измерения $T = 110$ К.

сителей заряда [2], то коэффициент поглощения при высокой интенсивности падающего излучения ($\alpha_{H+,-}$) неоднороден по толщине образца, и определение его из соотношения $D_{H+,-}/d$ (d — толщина образца) дает эффективное значение. Полагая, что измеряемые зависимости $D_{H+,-}(h\nu)$ являются суммой оптических плотностей слоев с изменившимся ($\alpha_{H+,-}$) и неизменившимся ($\alpha_{L+,-}$) коэффициентами поглощения, и считая, что существенное изменение поглощения имеет место в слое толщиной $d_{NL} = 1/\alpha_H$, из соотношения $D_H = \alpha_H d_{NL} + \alpha_L(d - d_{NL})$ можно вычислить $\alpha_{H+,-}(h\nu)$. Полученные таким способом зависимости $\alpha_{H+,-}(h\nu)$ показаны на рис. 1 (кривые 3, 3'). Видно, что в области края поглощения появляется ярко выраженный резонансный пик. Зависимости $\alpha_{L+,-}(h\nu)$ совпадают с зависимостями $D_{L+,-}(h\nu)$ (см. кривые 2, 2' на рис. 1), но соответствуют правой оси ординат.

Полученные результаты подтверждают предположение [2], что нелинейное ФВ в CdCr_2Se_4 связано с нелинейным поглощением, обусловленным обострением экситонного резонанса в результате экранирования фотовозбужденными носителями заряда внутренних электрических полей.

Список литературы

- [1] В.Г. Веселаго, С.Г. Рудов, М.А. Черников. Письма ЖЭТФ, **40**, 181 (1984).
- [2] Л.Л. Голик, З.Э. Кунькова. Письма ЖЭТФ, **66**, 409 (1997).
- [3] В.С. Викторавичюс, Р.А. Гадонас, А.П. Гальдикас, С.И. Гребинский, С.Я. Захаров, В.В. Красаускас, А.С. Пелакаускас. ФТТ, **32**, 2938 (1990).
- [4] М.И. Ауслендер, Н.Г. Бебенин. ФТТ, **30**, 945 (1988).
- [5] К.М. Голант, В.В. Тугушев, И.М. Юрин. ФТТ, **32**, 2100 (1990).
- [6] G. Harbeke, H. Pinch. Phys. Rev. Lett., **17**, 1090 (1966).
- [7] Л.Л. Голик, З.Э. Кунькова, Т.Г. Аминов, В.Т. Калинин. ФТТ, **22**, 877 (1980).
- [8] K. Kodama, T. Nimi. Japan. J. Appl. Phys., **19**, 307 (1980).
- [9] K. Kodama, S. Doi, T. Matsumura, T. Nimi. Japan. J. Appl. Phys., **19**, 317 (1980).

Редактор Т.А. Полянская

Effect of radiation intensity on spectrum of edge absorption of a CdCr_2Se_4 ferromagnetic semiconductor

L.L. Golik, Z.E. Kun'kova

Institute of Radio Engineering and Electronics,
Russian Academy of Sciences,
141120 Fryazino, Russia

Abstract Incident laser radiation intensity influence on spectral dependencies of the circularly polarized light absorption in CdCr_2Se_4 single crystals near the fundamental absorption edge was investigated in the temperature interval 110–130 K. Strong change of edge shape was observed. The effect is associated with the sharpening of the excitonic resonance through screening of the internal electric field in single crystals by photoexcited charge carriers.

E-mail: llg197@ire216.msk.ru