

Спектры фотоотражения и фотопроводимости кристаллов CdS: экситоны в электрических полях поверхностных состояний

© Р.А. Бисенгалиев, Э.Д. Батырев, Б.В. Новиков, А.В. Селькин*

Научно-исследовательский институт физики при Санкт-Петербургском государственном университете, 198904 Петродворец, Россия

*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, 194021 Санкт-Петербург, Россия

Исследованы экситонные спектры фотоотражения (ЭСФО) кристаллов CdS. Установлено, что вид ЭСФО определяется штарковским сдвигом энергии экситона в электрическом поле поверхностных состояний (ПС). Изучены зависимости ЭСФО от температуры, интенсивности и длины волны модулирующего облучения (МО), а также процессы релаксации сигнала фотоотражения. Предложена энергетическая схема ПС, объясняющая наблюдаемые эффекты фотоиндуцированного изменения поверхностного поля. Установлена корреляция ЭСФО с видом тонкой структуры фотопроводимости.

Экситонные спектры фотоотражения (ЭСФО) кристаллов CdS исследовались рядом авторов. В работе [1] предполагалось, что фотомодуляция отражения связана с экранированием поверхностного поля, а в работе [2] — с экранированием экситонов. Риш [3] связал фотоотражение с изменением поверхностного поля и условий рекомбинации на поверхности кристалла.

В настоящей работе, как и в [3], установлено, что кристаллы CdS, полученные разными методами, можно разделить по виду ЭСФО на две группы: *A* и *B* (рис. 1 и 2). Спектр типа *A* имеет вид обратного, а спектр типа *B* — прямого дисперсионного контура. При исследовании ЭСФО в качестве источников модулирующего облучения (МО) применялись азотный лазер ($\lambda = 337 \text{ nm}$), ртутные лампы и лампы накаливания, из сплошного спектра которых, с помощью монохроматора, выделялся узкий спектральный интервал. Использовались одиночные квазимонохроматические импульсы МО со скажностью и длительностью в несколько секунд.

ЭСФО типа *A* соответствует фотоиндуцированному сдвигу контура отражения в длинноволновую сторону, а спектр типа *B* — коротковолновому сдвигу (положительный и отрицательный штарковские сдвиги ΔE экситонного резонанса). Длинноволновое смещение обусловлено усилением поверхностного поля (заполнением ПС), а коротковолновое — ослаблением этого поля (опустошением ПС). Величина сдвига, в основном, определяется интенсивностью МО. Амплитуда ЭСФО и сдвиг $|\Delta E|$ уменьшаются при понижении температуры кристалла от 77 К до 4.2 К (особенно сильно для кристаллов типа *B*), что означает уменьшение напряженности наведенной составляющей поверхностного поля.

Измерение значения ΔE проводилось по смещению точки перегиба контура отражения. Для некоторых образцов $|\Delta E|$ достигало 2 meV (рис. 1 и 2). Такой способ измерения ΔE обосновывается путем сопоставления экспериментальных спектров с теоретическими, рассчитанными в рамках модели экситонного эффекта Штарка в поверхностном поле барьера Шоттки [4]. Качественное согласие между экспериментальными и теоретическими спектрами достигается, если принять, что концентрация

избыточных доноров в исследованных образцах составляет величину порядка 10^{16} cm^{-3} , а приповерхностный изгиб зон меняется в пределах 0.1–0.2 eV.

Временная релаксация сигнала ФО в кристаллах типа *A* характеризуется быстрой ($\tau < 0.1 \text{ s}$) и медленной ($\tau > 5 \text{ s}$) компонентами, а в кристаллах типа *B*, главным образом, быстрой компонентой (рис. 1, *a, b*). Быстрая компонента может быть связана с кулоновским захватом дырок на ПС, а медленная с тепловым забросом электронов с относительно мелких ПС в зону проводимости. С понижением температуры эта компонента ослабевает.

При исследовании зависимости ЭСФО от длины волны МО несколько неожиданным оказалось то, что сигнал фотоотражения в области экситонного резонанса наблюдается и в том случае, когда энергия E_{MO} кванта МО существенно меньше ширины E_g запрещенной зоны. На рис. 2 представлены зависимости приращения ΔR коэффициента отражения R в спектральной области максимального значения R от энергии кванта МО для кристаллов обоих типов. Видно, что характер изменения ΔR для кристаллов типа *A* и *B* качественно разный.

Изменение длины волны МО в области прозрачности кристалла приводит к изменению амплитуды и знака сигнала ЭСФО, что соответствует переходу от типа *A* к *B* или наоборот. Для кристаллов типа *A* такой переход наблюдается при энергии $E_{t1} = E_g - 0.58 \text{ eV}$ ($\lambda = 625 \text{ nm}$), а для кристаллов типа *B* при $E_{t2} = E_g - 0.10 \text{ eV}$ ($\lambda = 503 \text{ nm}$).

Мы полагаем, что в кристаллах типа *A* при $E_{MI} > E_{t1}$ преобладает процесс заполнения ПС, а при $E_{MO} < E_{t1}$ — их опустошения, что ведет к увеличению или уменьшению поверхностного поля, соответственно. В кристаллах типа *B* изначально имеется сильный изгиб зон (сильное поверхностное поле). Это связано с высокой концентрацией ПС и большим, чем в типе *A*, заполнением их электронами. В этом случае преобладают процессы захвата дырок ПС, и, как следствие, происходит уменьшение поверхностного поля. Когда же энергия кванта МО близка к энергии незаполненных ПС ($E_g - 0.05 \text{ eV}$, $E_g - 0.4 \text{ eV}$), преобладают процессы заполнения ПС и

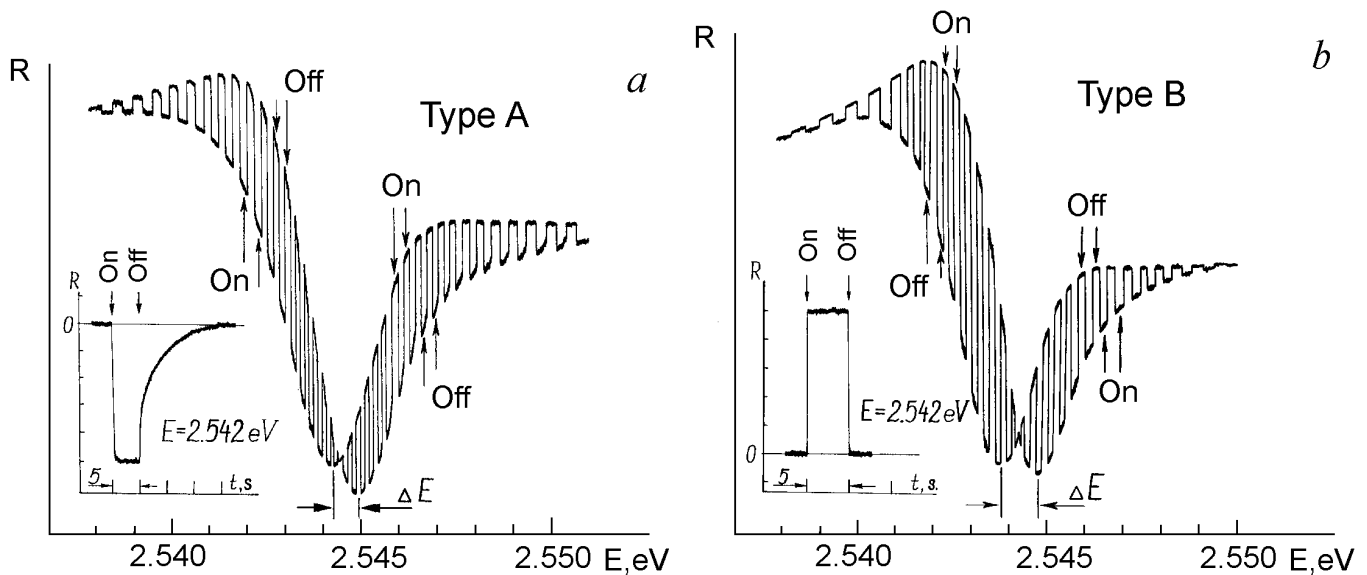


Рис. 1. Спектр отражения и форма релаксационных импульсов в кристаллах CdS типа A (a) и B (b) при $T = 77$ К, $E \perp C$.

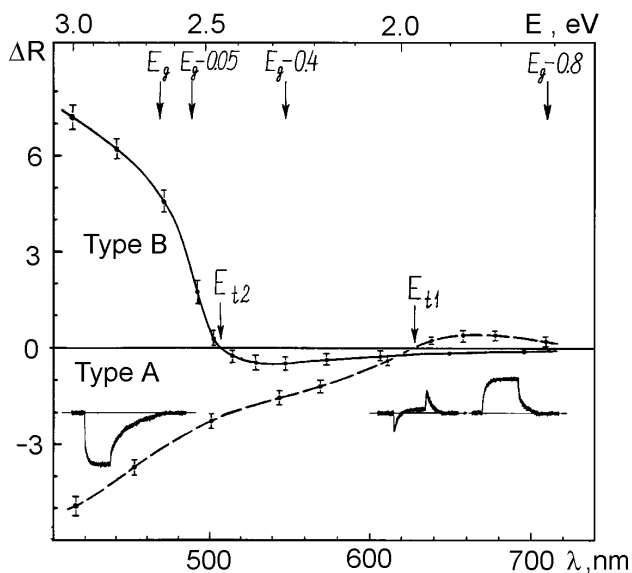


Рис. 2. Изменение амплитуды и формы импульсов в максимуме сигнала фотоотражения при изменении энергии модулирующего облучения при $T = 77$ К, $E \perp C$ для кристаллов CdS типа A и B.

рост поверхностного поля. С изменением типа ЭСФО меняется и тип релаксационных процессов. В переходной области форма релаксационных импульсов может быть сложной и вызываться различными относительными вкладами быстрых и медленных процессов (рис. 2). Для расчета были использованы данные по энергетическим

положениям ПС для призматической поверхности CdS, измеренные методом фотоэдс при температуре 300 К [5].

Тонкая структура фотопроводимости кристаллов CdS также обнаруживает два характерных типа спектров (группы 1 и 2) [6]. В работе [3] утверждается, что имеется прямое соответствие между ЭСФО A- и B-типа и кристаллами групп 1 и 2. В настоящей работе нами установлено, что корреляция носит более сложный характер. Некоторые кристаллы с ЭСФО типа A имеют спектр фотопроводимости 2-ой группы. Однако при ИК подсветке спектр фотопроводимости этих кристаллов обнаруживает структуру 1-ой группы. Мы связываем это с перезарядкой ПС и со сложным характером изгиба зон у поверхности этих кристаллов. Подробно эти вопросы будут рассмотрены в отдельной публикации.

Настоящая работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ (грант № 97-02-18322).

Список литературы

- [1] E.Y. Wang, W.A. Albers. J. Phys. Lett. **A27**, 347 (1968).
- [2] W. Stossel, K. Colbow et al. J. Phys. **348**, 1675 (1970).
- [3] L. Risch. Phys. Stst. Sol. (b) **88**, 3 (1978); Phys. Stst. Sol. (a) **49**, 177 (1978).
- [4] А.Б. Новиков, Б.В. Новиков, Г. Роппишер, А.В. Селькин, Н. Штайн, Р.Б. Юферев. Письма в ЖЭТФ **64**, 1, 38 (1996).
- [5] J. Lagowski, C.L. Balestra et al. Surf. Sci. **29**, 213 (1972).
- [6] E.F. Gross, B.V. Novikov. J. Phys. Chem. Sol. **22**, 87 (1961).