

## Устойчивость фотоотклика кристаллов $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$

© В.К. Комарь\*, В.П. Мигаль<sup>†</sup>, С.В. Сулима\*, А.С. Фомин<sup>††</sup>

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского „ХАИ“,  
61070 Харьков, Украина

\*НТК „Институт монокристаллов“, Институт сцинтилляционных материалов Национальной академии наук Украины,  
61001 Харьков, Украина

(Получена 15 марта 2005 г. Принята к печати 5 апреля 2005 г.)

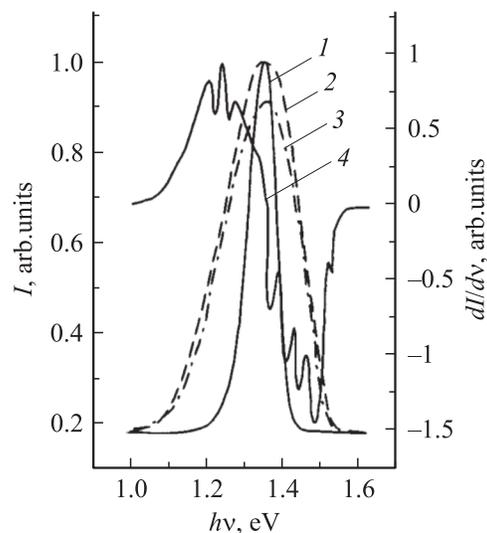
Разнообразие и характер распределения дефектов структуры, а также флуктуации состава обуславливают индивидуальность и неустойчивость фотоотклика  $I$  детекторов и спектрометров на основе  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  при интенсивных воздействиях или при экстремальных условиях эксплуатации. Показано, что они наиболее полно отражаются в дифференциальных спектральных характеристиках  $I(h\nu)$  и построенных на их основе диаграммах  $dI/d\nu = f(I)$ .

PACS: 72.40.+w, 77.22.Ch

В процессе эксплуатации детекторов и спектрометров  $\gamma$ -излучения на основе  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  при больших перепадах температур и в широком диапазоне интенсивностей воздействия был выявлен ряд проблем, которые тесно связаны с многообразием дефектов, порожденных сильно неравновесными условиями выращивания слитков большого диаметра [1]. В частности, возникает неустойчивость детекторных и спектрометрических характеристик, и, как следствие, проявляется их индивидуальность при интенсивных воздействиях. Это обуславливает неоднозначность при обработке и анализе экспериментальных данных, полученных при различных внешних условиях. Поэтому цель данной работы состояла в исследовании устойчивости фотоэлектрического отклика кристаллов  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  и поиск способов выявления индивидуальных свойств. Исследовались спектры стационарного фототока кристаллов  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  ( $x = 0.05-0.2$ ) с удельным сопротивлением  $\rho \sim 10^{10}-10^{11}$  Ом·см, выращенных из расплава методом Бриджмена при различных условиях. Конфигурация фронта кристаллизации контролировалась по форме изоконцентраты Zn. Исследования ростовых дефектов проводили оптическими, диэлектрическими и акустическими методами [1]. На противоположные грани образцов, имеющих форму параллелепипеда с размерами  $5 \times 5 \times 2$  мм и  $11 \times 11 \times 2$  мм, наносились индий-галлиевые и золотые контакты. Стационарный фототок измеряли в поле с напряженностью 100–500 В/см при автоматическом сканировании спектра электрометрическим усилителем У5-6, при этом осуществлялась оцифровка сигнала и обработка на компьютере. Измерение диэлектрической проницаемости и коэффициента диэлектрических потерь проводили на частоте 1000 Гц с помощью моста переменного тока Е8-4. Все исследованные образцы, изготовленные из слитков диаметром 50 мм, условно можно разделить на две группы. К первой относятся оптически наиболее однородные кристаллы, имеющие незначительную концентрацию мелких пустот

и включений. Образцы второй группы, изготовленные из слитков, выращенных при большей кривизне фронта кристаллизации, имеют ярко выраженную мозаичность и содержат разнообразные границы, создаваемые двумерными дефектами структуры (двойниками, блоками, полосами скольжения и т.п.).

Типичный для образцов первой группы спектр фототока  $I(h\nu)$  приведен на рис. 1 (кривая 1). Спектры фототока для таких кристаллов практически одинаковы и не зависят от направления сканирования спектра по шкале длин волн (энергий фотонов  $h\nu$ ), а также от времени сканирования. В то же время для образцов второй группы они охватывают большую спектральную область и отличаются не только друг от друга, но и зависят от направления сканирования по шкале длин волн (рис. 1, кривые 2, 3). Оказалось также, что эти спектры зависят и от скорости изменения длин волн (времени сканиро-



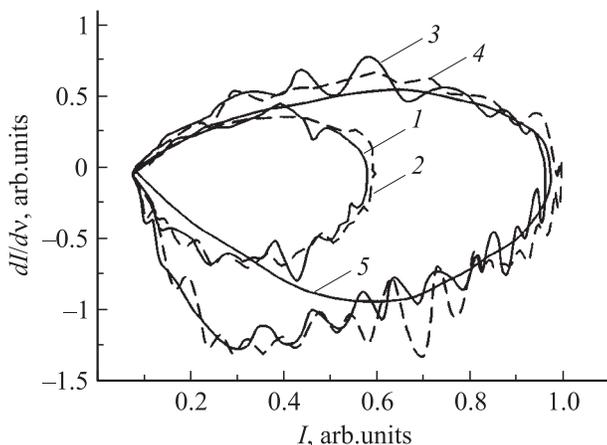
**Рис. 1.** Спектры фототока кристаллов  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ : 1 — образец первой группы; 2, 3 — образец второй группы, сканирование спектра при увеличении (2) и уменьшении (3) частоты; 4 — дифференциальный спектр  $dI/d\nu = f(\nu)$  образца второй группы.

<sup>†</sup> E-mail: mygal@mail.ru

<sup>††</sup> E-mail: khai\_physical\_lab@xai.edu.ua

вания спектра). Это связано с зависимостью кинетики фототока от длины волны фотовозбуждения, а также с зависимостью спектра и кинетики от фотоактивной или электрической предыстории, т.е. времени пребывания образцов до измерения на свету или в электрическом поле. Индивидуальные особенности фотоотклика естественно связать с взаимосогласованными процессами перестройки различных подсистем кристалла. На это указывает характер изменения кинетики с увеличением интенсивности фотовозбуждения, а также зависимость спектра фототока от времени его сканирования, т.е. от скорости изменения частоты. Возникающие при этом едва заметные изломы в спектре фототока преобразуются в результате компьютерной обработки результатов измерения методом усреднения крутизны в двух соседних точках в экстремумы дифференциального спектра  $dI/d\nu = f(\nu)$  (рис. 1, кривая 4). При этом увеличивается неоднозначность отклика, т.е. определенному значению  $dI/d\nu$  могут соответствовать больше двух значений частоты. Отметим, что количество экстремумов для всех исследованных образцов в коротковолновой области спектра, как правило, больше, чем в длинноволновой.

Для изучения и анализа устойчивости фотоотклика конкретного детектора к внешним факторам нами предложены диаграммы  $dI/d\nu = f(I)$  (рис. 2). Они отображают спектры фототока в параметрическом виде и содержат замкнутые последовательности дугообразных участков. При этом на диаграммах  $dI/d\nu = f(I)$ , полученных при последовательном измерении спектра одного и того же образца в одинаковых условиях, выявляются спектральные участки неустойчивого фотоотклика, на которых наблюдается плохая воспроизводимость. Именно эти участки определяют индивидуальные особенности взаимодействия различных подсистем кристалла.



**Рис. 2.** Диаграмма  $dI/d\nu = f(I)$  для образцов  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ : 1, 2 — образец второй группы, низкий уровень интенсивности фотовозбуждения  $F_1$ ; 3, 4 — образец второй группы, высокий уровень интенсивности фотовозбуждения  $F_2 = 2F_1$ ; 5 — образец первой группы. Штриховая линия — сканирование спектра при увеличении частоты, сплошная — сканирование спектра при уменьшении частоты.

Так, наблюдается увеличение количества дугообразных участков на диаграммах  $dI/d\nu = f(I)$ , полученных при большей интенсивности фотовозбуждения. Кроме того, на них хорошо отображаются индивидуальные особенности, связанные с фотоактивной предысторией (направление сканирования спектра, предварительное фотовозбуждение и т.п.), а также с изменением времени сканирования. Важно также, что эти зависимости существенно облегчают сопоставительный анализ спектральных характеристик разных детекторов.

Выявленные особенности диаграмм  $dI/d\nu = f(I)$  (рис. 2), а именно зависимость от предыстории, направления и времени сканирования спектра, а также их существенную перестройку с увеличением интенсивности фотовозбуждения естественно связать с изменением характера взаимодействия электронной и упругой подсистем кристалла вследствие перезарядки сложных центров и возникновения пространственно неоднородного распределения поляризованного заряда. В рамках релаксационной модели это можно рассматривать как следствие долговременной самосогласованной перестройки внутренних полей [2]. Поскольку с увеличением скорости сканирования спектра наблюдается уменьшение количества дугообразных участков на диаграммах  $dI/d\nu = f(I)$ , а также уменьшается их разброс при повторных измерениях, можно сделать вывод, что в кристалле доминируют крупномасштабные поля, перестройка которых требует большего времени.

Проведенные ранее исследования оптических, диэлектрических и акустических свойств кристаллов, полученных в сильно неравновесных условиях, указывают на фрагментирование слитка, вследствие чего образцы из близлежащих областей характеризуются различными диэлектрическими, оптическими и другими параметрами [1,3–5]. Это, в частности, подтверждает характер изменения диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$  и коэффициента диэлектрических потерь  $\epsilon''$  при сканировании образцов второй группы монохроматическим световым зондом шириной 50 мкм. Действительно, полученные координатные зависимости  $\epsilon'(x)$  и  $\epsilon''(x)$  ( $x$  — координата положения зонда на образце) отличаются друг от друга и содержат ряд локальных экстремумов, число и распределение которых являются индивидуальным для каждого образца. Представление этих результатов в комплексной плоскости (рис. 3) показало, что диаграммы для комплексной диэлектрической проницаемости  $\epsilon^*(x)$  содержат петлеобразные и другие особые участки, которые подтверждают существование в кристалле областей, выполняющих функции стоков и истоков полей, включений с различной проводимостью и т.п. [5]. Отметим также, что при сканировании образца световым зондом были выявлены области нестабильности диэлектрического отклика. Они, очевидно, могут быть причиной плохой воспроизводимости некоторых участков диаграмм  $dI/d\nu = f(I)$  (рис. 2) при прямом и обратном сканированиях спектра.

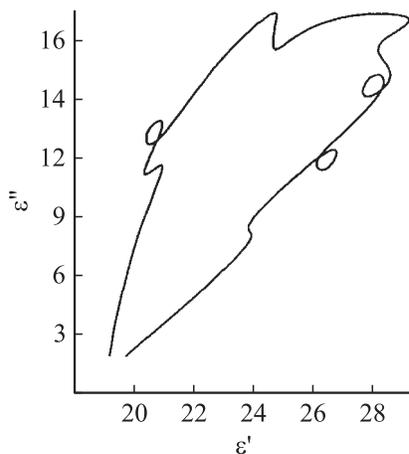


Рис. 3. Зависимость  $\varepsilon''(x)$  для образца  $Cd_{1-x}Zn_xTe$ .

Полученные результаты дают основания в рамках более общей модели рассматривать кристаллический слиток как систему из совокупности различных функциональных элементов. При изготовлении детекторов в каждом из них содержится разное количество функциональных элементов, взаимодействие которых при фотовозбуждении формирует индивидуальную интегральную реакцию детектора на внешние воздействия. Последняя отображает изменение характера взаимосвязей между совокупностью элементов с целью максимального противодействия внешнему влиянию согласно принципу Ле Шателье, который является термодинамическим обобщением закона Ленца. Поэтому диаграмму  $dI/dv = f(I)$  можно рассматривать как некий „портрет“, геометрическая конфигурация которого определяется характером взаимодействия различных подсистем кристалла при фотовозбуждении. Предложенную модель подтверждают также результаты исследования динамики фотоотклика при периодическом фотовозбуждении детекторов П-образными монохроматическими импульсами и представлении отклика в виде совокупности фазовых портретов [6]. Так, было установлено, что только образцы первой группы обладают устойчивым фотооткликом. Фазовые портреты образцов второй группы в одних спектральных участках устойчивы, а в других нет. Кроме того, зондовое фотовозбуждение П-образными монохроматическими импульсами дает возможность выявлять устойчивые и неустойчивые области детектора, которые, очевидно, являются причиной нестабильного диэлектрического отклика. Следовательно, результаты анализа динамического фотоотклика кристаллов с помощью фазовых портретов и диаграмм  $dI/dv = f(I)$  дополняют друг друга и позволяют выявлять спектральные и пространственные области неустойчивого отклика детекторов.

В заключение отметим, что в процессе эксплуатации детекторов и спектрометров на основе  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  важен контроль динамики обратимых и необратимых из-

менений характеристик. Для анализа и прогнозирования наиболее подходят представленные в параметрическом виде спектры фотоотклика, а именно  $dI/dv = f(I)$ , так как они позволяют: а) определять устойчивость фотоотклика к внешним факторам при на порядок меньших интенсивностях воздействий; б) количественно оценивать скорость необратимых изменений по соотношению площадей соответствующих диаграмм и фазовых портретов; в) выявлять индивидуальные особенности фотоотклика.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда фундаментальных исследований Украины.

## Список литературы

- [1] V. Komar, A. Gektin, D. Nalivaiko, I. Klimenko, V. Mygal, O. Panchuk, A. Rybka. Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res., **458** (1–2), 113 (2001).
- [2] В.П. Мигаль, А.Л. Рвачев, О.Н. Чугай. ФТП, **19**, 517 (1985).
- [3] V.K. Komar, V.P. Migal, O.N. Chugai, V.M. Puzikov, D.P. Nalivaiko, N.N. Grebenyuk. Appl. Phys. Lett., **81**, 4195 (2002).
- [4] И.А. Клименко, В.К. Комарь, В.П. Мигаль, Д.П. Наливайко. ФТП, **35**, 139 (2001).
- [5] И.А. Клименко, В.П. Мигаль. ФТП, **36**, 397 (2002).
- [6] В.П. Мигаль, И.А. Клименко, А.С. Фомин. *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии* (Харьков, Изд-во „ХАИ“, 2004) вып. 23, с. 63.

Редактор Л.В. Шаронова

## A photoresponse stability of $Cd_{1-x}Zn_xTe$ crystals

V.K. Komar\*, V.P. Mygal, S.V. Sulima\*, A.S. Phomin

N.E. Zhukovsky National Aerospace University „KhAI“,  
61070 Kharkov, Ukraine

\*STS „Institute for Single Crystals“,  
Institute for Scintillation Materials,  
National Academy of Sciences of Ukraine,  
61001 Kharkov, Ukraine