

Фотоэлектрические свойства монокристаллов $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, выращенных из газовой фазы

© С.С. Варшава, И.С. Вирт*, И.В. Курило, Д.И. Цюцюра*

Государственный университет "Львовская политехника",
290013 Львов, Украина

*Дрогобычский педагогический университет,
293720 Дрогобыч, Украина

(Получена 5 апреля 1999 г. Принята к печати 26 апреля 1999 г.)

Экспериментально исследованы электрофизические и фотоэлектрические свойства кристаллов $\text{Hg}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{Te}$, выращенных методом химических транспортных реакций. Определена зависимость концентрации носителей заряда и их подвижность от температуры. Фотоэлектрические свойства данных кристаллов укладываются в рамки модели существования быстрых и медленных рекомбинационных центров.

Число публикаций о свойствах кристаллов $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ с большим содержанием CdTe ($x > 0.5$) ограничено. Имеются работы о технологии выращивания таких кристаллов [1,2] и о контактных явлениях, возникающих на границе металл-широкозонный полупроводник $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x > 0.5$). Электрофизические и особенно фотоэлектрические свойства кристаллов указанных составов практически не исследовались. В основном это связано с трудностью получения однородных кристаллов с $x > 0.5$ классическими методами Бриджмена или жидкофазной эпитаксии.

В данной работе приведены результаты исследований электрофизических и фотоэлектрических свойств монокристаллов $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x = 0.9$), выращенных из газовой фазы. Для этого предварительно проводился синтез соединений из элементарных Cd , Hg , Te . Затем методом химических транспортных реакций в замкнутой системе $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}-\text{NH}_4\text{Br}$ получены пластинчатые монокристаллы размерами $10 \times 10 \times 10 \text{ мм}^3$ при температурах зон источника 953 К и кристаллизации 833 К. Такие режимы кристаллизации позволяют получать структурно совершенные монокристаллы. Элементный состав твердого раствора определялся рентгеновским анализатором "Comebax" в двадцати точках по длине образцов. Содержание CdTe x изменялось при этом в пределах 0.01, включений иных фаз не выявлено.

Коэффициент Холла (в магнитном поле $H = 1 \text{ кЭ}$) и электропроводность измерялись в области температур $300 \div 77 \text{ К}$. Поверхность образцов химически полировалась в растворе $\text{Br}-\text{CH}_3\text{OH}$. Контакты наносились напылением Au с подпайкой индия. Стационарные фотоэлектрические свойства исследовались с использованием спектрометра ИКС-21 с призмой Ф1, а нестационарные — с помощью импульсного N_2 -лазера (длина волны 0.33 мкм) и импульсного светодиода на основе GaAs (длина волны 0.9 мкм).

Образцы указанных составов обладали дырочной проводимостью во всем диапазоне исследуемых температур T . Концентрация дырок определялась как $p(T) = 1/eR(T)$, где e — заряд электрона, $R(T)$ — коэффициент Холла. Подвижность носителей заряда

$\mu_p = \sigma R$ при температуре $T = 77 \text{ К}$ составляла $400 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, а их концентрация изменялась в пределах $p = 10^{16} \div 10^{14} \text{ см}^{-3}$ от комнатной температуры до температуры жидкого азота. Рост концентрации дырок (рис. 1) с температурой определяется активационным процессом с энергией $E_{i1} = 54 \text{ мэВ}$ в области температур $30 \div 90 \text{ К}$, а при $T < 90 \text{ К}$ зависимость $p(T)$ выходит на насыщение. В том же температурном диапазоне подвижность носителей заряда изменяется по степенной зависимости $\mu \sim \mu_0 T^{-2}$, которая указывает на определяющий фактор фононного механизма рассеяния.

Спектральная зависимость фотоотклика $U_{pc}(\lambda)$ при температуре 77 К (рис. 2) имеет максимум на длине волны $\lambda = 780 \text{ нм}$, а ширина запрещенной зоны, определенная по полуспаду длинноволнового края, составляет $E_g = 1.45 \text{ эВ}$. В области поверхностного возбуждения (при $\lambda d > 1$) фототок слабо зависит от λ , и его значительная величина (по сравнению с величиной в максимуме) свидетельствует о малой плотности поверхностных состояний. Примесный фототок существует до длины волны 1250 нм, т.е. примесный уровень распо-

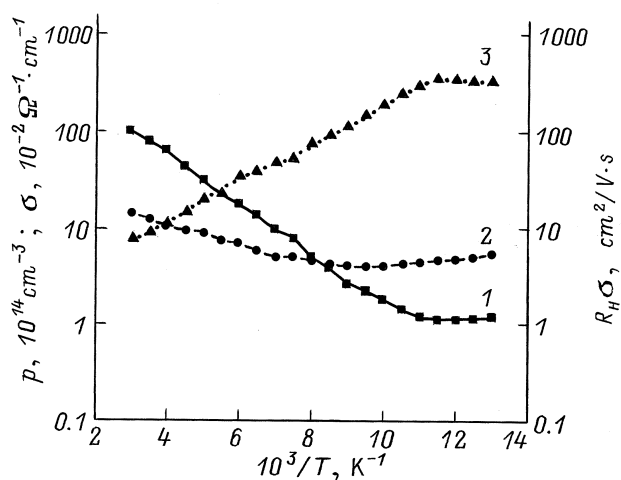


Рис. 1. Температурные зависимости концентрации p (1), удельной электропроводности σ (2) и холловской подвижности $R_H \sigma$ (3) образца $2\text{Hg}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{Te}$.

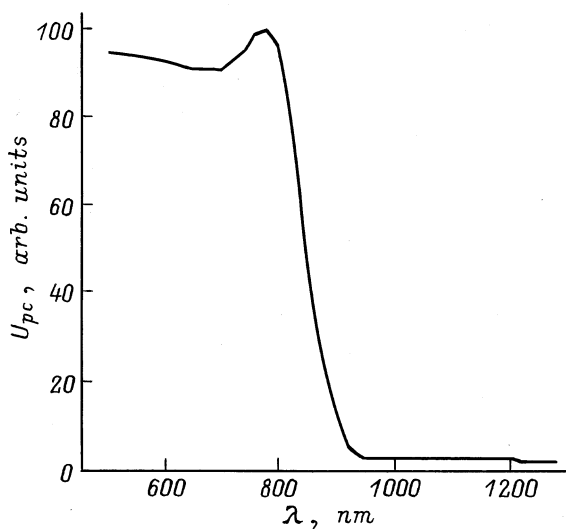


Рис. 2. Спектральная зависимость фотоотклика U_{pc} образца $Hg_{0.1}Cd_{0.9}Te$ при температуре 77 К.

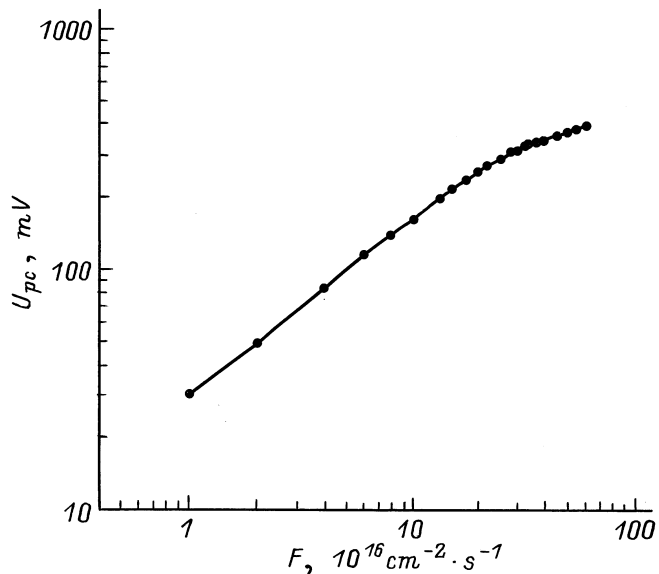


Рис. 3. Зависимость величины фотоотклика U_{pc} на длине волны 0.9 мкм от интенсивности возбуждения F для образца $Hg_{0.1}Cd_{0.9}Te$.

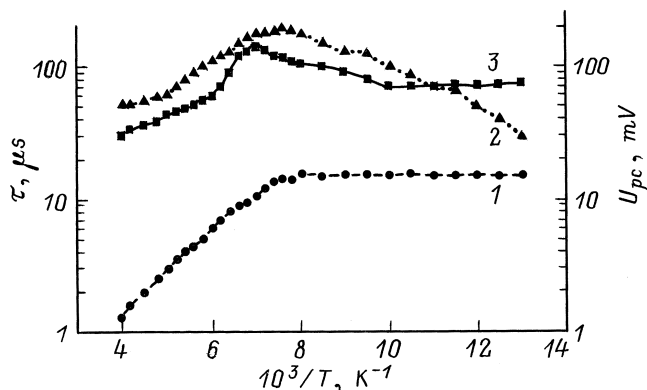


Рис. 4. Температурные зависимости характерных времен релаксации фотоотклика τ образца $Hg_{0.1}Cd_{0.9}Te$ медленной (2) и быстрой (1) компонент (τ_2 и τ_1), а также величины стационарного фотоотклика U_{pc} (3).

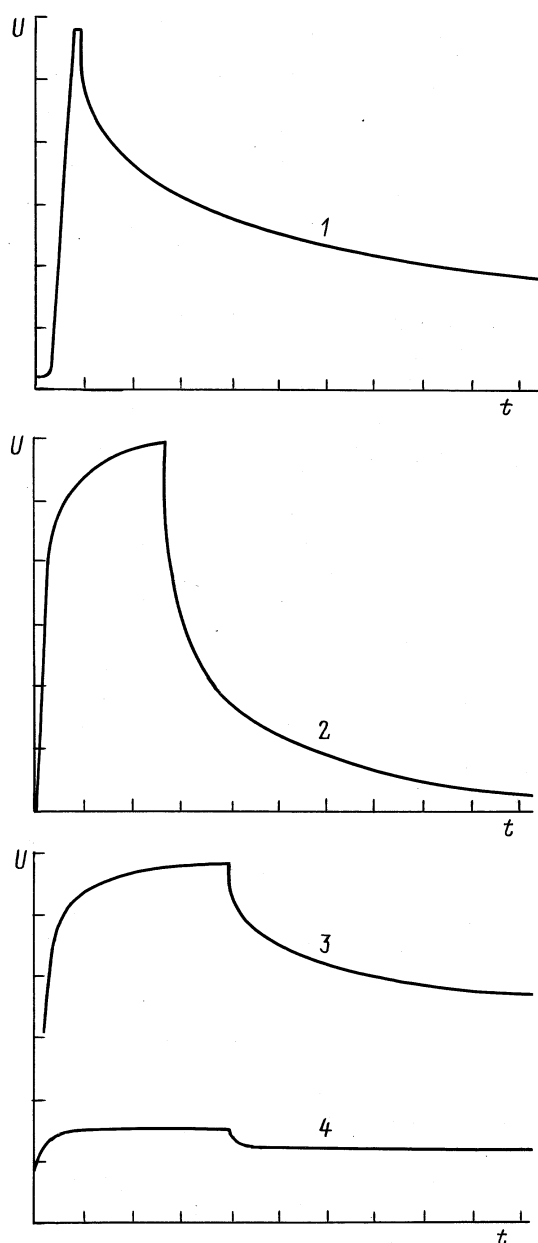


Рис. 5. Осциллограммы изменения фотоотклика U во времени t образца $Hg_{0.1}Cd_{0.9}Te$ при температуре 77 К (1, 2) и процесса инфракрасного гашения фотопроводимости (3, 4). 1 — длительность возбуждающего импульса 10 нс, $\lambda = 0.33$ мкм; масштабы: $U = 2$ мВ/дел., $t = 20$ мкс/дел. 2 — длительность возбуждающего импульса 1 мс, $\lambda = 0.9$ мкм; масштабы: $U = 1$ мВ/дел., $t = 1$ мс/дел. 3 — без инфракрасной подсветки, 4 — с инфракрасной подсветкой $\lambda = 1.1$ мкм; масштабы: $U = 5$ мВ/дел., $t = 20$ мкс/дел.

ложен на расстоянии $E_{i2} = 0.45$ эВ от края одной из разрешенных зон. Люкс-вольтовая характеристика при возбуждении в максимуме спектральной характеристики имеет сублинейный характер при высоких уровнях возбуждения $U_{pc} \sim F^{2/3}$, где F — мощность излучения (рис. 3). Подробно анализ такой зависимости приведен

в [3], базирующийся на модели изменения соотношения между концентрацией центров рекомбинации и центров прилипания неравновесных носителей заряда в зависимости от уровня освещения.

В большинстве случаев при возбуждении образцов короткими импульсами света (10 нс) кривые релаксации фототока имеют две составляющие — быструю ($\tau_1 = 10^{-5}$ с) и медленную ($\tau_2 = 10^{-4}$ с) (рис. 4). Температурные зависимости медленных компонент проходят через максимум в области температур $200 \div 150$ К с энергией активации $E_{i3} = 70 \div 110$ мэВ для различных образцов. Ход стационарного времени жизни неравновесных носителей заряда ($t_{ss} \sim U_{pc}/\mu_p$) в области низких температур имеет резкий спад, что свидетельствует об асимметрии темпа захвата электронов и дырок. Это дает основание предположить, что в случае возбуждения короткими импульсами рекомбинация неравновесных носителей заряда, аналогично наблюдаемой в кристаллах CdTe, контролируется быстрыми (s) и медленными (r) центрами [4] (рис. 5, кривая 1). При освещении длинными импульсами ($\Delta\tau \sim 1$ мс) на кривой релаксации фотоотклика существует только медленная компонента, связанная с r -центрами (рис. 5, кривая 2).

При инфракрасном гашении фотоотклика ($\lambda \simeq 1.1$ мкм) (рис. 5, кривые 3 и 4) обе компоненты сохраняются, свидетельствуя о том, что концентрации r - и s -центров примерно одинакова ($r/s \sim 1$), однако центрами прилипания, наиболее влияющими на релаксационные процессы в кристаллах данных составов, являются медленные энергетические r -уровни [5].

Предложенная схема рекомбинационных явлений качественно объясняет температурные зависимости релаксационных процессов фотопроводимости в кристаллах $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ с большим x .

Список литературы

- [1] С.С. Варшава, А.С. Островська, Г.М. Потапчук. УФЖ, **38**, 398 (1993).
- [2] И.В. Курило, С.П. Павлишин, С.Н. Бекеша, Г.А. Ильчук, Ю.Г. Ахроменко. Изв. АН СССР. Неорг. матер., **23**, 228 (1987).
- [3] А. Роуз. *Основы теории фотопроводимости* (М., Мир, 1966).
- [4] В.Е. Лашкарев, А.В. Любченко, А.В. Шейнкман. *Неравновесные процессы в фотопроводниках* (Киев, Наук. думка, 1981).
- [5] В.Е. Лашкарев, А.В. Шейнкман, А.В. Любченко. ФТТ, **7**, 1727 (1965).

Редактор Л.В. Шаронова

Electrophysical and photoelectrical properties of $\text{Hg}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{Te}$ crystals grown by vapour phase method

S.S. Varshava, I.S. Virt*, I.V. Kurilo, D.I. Tsiutsiura*

State University "Lviv Polytechnic",
290646 Lviv, the Ukraine
*Pedagogical University,
293720 Drohobych, Ukraine

Abstract Electrophysical and photoelectrical characteristics of $\text{Hg}_{0.1}\text{Cd}_{0.9}\text{Te}$ crystals grown by vapour phase technology are examined. Carrier concentration and mobility temperature dependencies are determined. Photoelectrical properties are in good agreement with the model of existence of s - and r -recombination centers.