

# О влиянии уровней захвата на токоперенос в структурах Pd-p(n)-CdTe

© С.В. Слободчиков, Х.М. Салихов, Е.В. Руссу

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

(Получена 10 сентября 1998 г. Принята к печати 15 сентября 1998 г.)

Исследованы вольт-амперные характеристики и фотоэдс структур Pd-p(n)-CdTe и изменение их при импульсном воздействии водорода. Показано, что токоперенос в структурах Pd-n-CdTe [ $I \sim \exp(\alpha V)$ ] связан с двойной инжекцией носителей при их захвате на однородно распределенные по энергии уровни ловушек. Для структур Pd-p-CdTe важен полупроводниковый режим двойной инжекции с  $I \sim V^2$ . Серия глубоких уровней захвата, в том числе в интервале 0.75 ÷ 0.83 эВ, ответственна за длительный процесс релаксации фотоэдс и темнового тока после импульса потока H<sub>2</sub>.

Среди полупроводниковых соединений A<sup>II</sup>B<sup>IV</sup> теллурид кадмия занимает заметное место как материал, используемый для создания ряда оптоэлектронных приборов и в особенности детекторов различного вида излучений. Исследованию электрических, оптических и фотоэлектрических свойств кристаллов CdTe и диодных структур на его основе уделялось много внимания [1]. Во многих из этих исследований выявлена большая роль центров захвата различного происхождения, влияющих на время жизни основных и неосновных носителей тока и изменяющих характеристики чувствительности приборных устройств.

В настоящем сообщении приведены некоторые результаты исследования механизма токопереноса в диодных структурах с палладиевым контактом на основе частично компенсированных p- и n-CdTe.

Кристаллы CdTe были выращены методом сублимации из предварительно синтезированного поликристаллического материала. Процесс роста проводился в двухзонной печи в откаченной до 10<sup>-5</sup> мм рт. ст. кварцевой ампуле при температуре 850 ÷ 900°С и перемещаемой со скоростью 0.5 мм/ч. Изменением технологических условий выращивания получены частично компенсированные образцы CdTe как p-, так и n-типа с удельным сопротивлением  $\rho = 10^4 \div 10^6$  Ом · см. Палладий наносился путем напыления в вакууме и его толщина составляет 400 Å. На тыльной стороне субстрата создавались омические контакты напылением индия.

Были проведены измерения вольт-амперных характеристик, фотоэдс, изменение их под импульсным воздействием водорода и связанных с этим релаксационных характеристик.

На рис. 1 представлены типичные прямые ветви вольт-амперных характеристик для структур Pd-p-CdTe (кривая 1) и структур Pd-n-CdTe (кривые 2 и 3). Кривые 1 и 2 сняты при T = 300 К, а кривая 3 — при T = 108 К. На кривой 1 за омическим участком с ростом смещения следует участок  $I \sim V^2$ . Для образцов диодных структур на основе n-CdTe характерна экспоненциальная зависимость как для T = 300 К, так и для T = 108 К (кривые 2 и 3)

$$I \sim \exp \alpha V. \quad (1)$$

Анализ показывает, что для обоих типов диодных структур механизм токопрохождения может быть объяснен двойной инжекцией носителей в слой p(n)-CdTe. Квадратичная зависимость от напряжения в структурах на основе p-CdTe больше соответствует полупроводниковому режиму двойной инжекции, когда

$$I \sim q(p_0 - n_0)\mu_n\mu_p\tau \frac{V^2}{L^3}. \quad (2)$$

(В соотношении (2) L — толщина слоя p-CdTe, остальные символы имеют обычное значение). В пользу этого утверждения свидетельствует оценка эффективной подвижности дырок  $\mu_p^*$  в изоляторном режиме, когда величина  $q(p_0 - n_0)\mu_n\mu_p\tau$  переходит в  $\mu_p^*$ . С использованием экспериментальных данных эта оценка дает завышенное значение  $\mu_p^* > 10^3$  см<sup>2</sup>/В · с.

Для структур Pd-n-CdTe, в которых в прямом направлении коэффициент инжекции электронов  $I_n/I \gg I_p/I$ , захват основных носителей должен оказывать решающее влияние на вид вольт-амперной характеристики. При

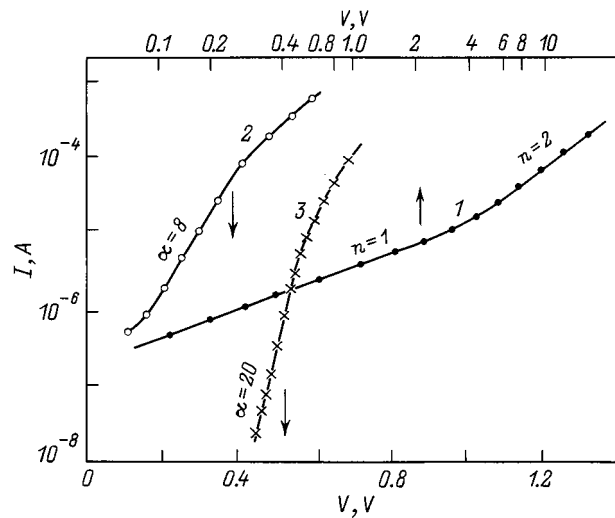


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики диодных структур Pd-CdTe при температуре T, К: 1, 2 — 300, 3 — 108. Тип проводимости CdTe: 1 — p, 2, 3 — n. Верхняя шкала по оси абсцисс — для кривой 1.

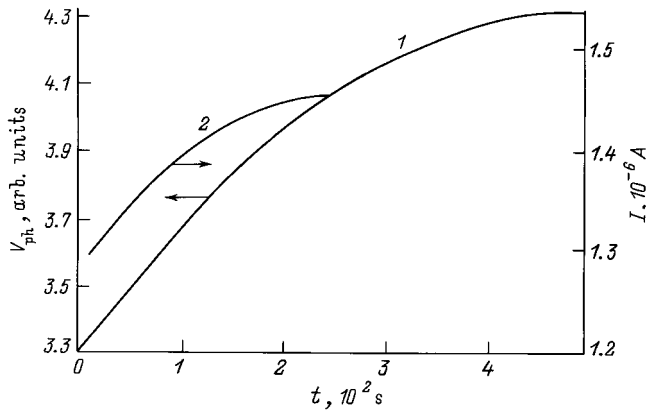


Рис. 2. Релаксация фотоэда ( $I$ ) и прямого темнового тока ( $I_0$ ) для структуры Pd- $n$ -CdTe при  $T = 300$  К.

этом энергетическое распределение ловушек в запрещенной зоне имеет существенное значение. Экспоненциальная зависимость тока от напряжения заставляет предположить наличие в запрещенной зоне однородного распределения по энергии уровней ловушек. В этом случае [2]

$$I \sim \exp \left[ \frac{2\varepsilon V}{N_t(E)kTL^2} \right], \quad (3)$$

где  $N_t(E)$  — плотность ловушек на единицу энергии. Из наклона зависимости  $\lg I = f(V)$  (кривая 2) получаем

$$\alpha = \frac{2\varepsilon}{N_t(E)kTqL^2} = 8$$

и  $N_t(E) \simeq 10^{12} \text{ см}^{-3} \cdot \text{эВ}^{-1}$ . При 108 К, согласно (3), величина  $\alpha = 22$ . Из наклона кривой 3 получаем  $\alpha = 20$  в хорошем соответствии с ожидаемым значением. Следует отметить, что порядок величины найденной плотности ловушек соответствует величинам, известным из ряда экспериментальных работ по электрическим, оптическим и фотоэлектрическим свойствам CdTe [3].

При исследовании спектральной фоточувствительности (при  $T = 300$  К) по фаулеровскому хвосту определена высота барьера Шоттки на  $p$ -CdTe, равная 0.95 эВ, и на  $n$ -CdTe — 1.1 эВ.

На рис. 2 представлены кривые релаксации фотоэда ( $I$ ) и прямого тока ( $I_0$ ) после импульсного воздействия водорода. Они характеризуются длительным временем релаксации, достигающим приблизительно 430 с для фотоэда и примерно 240 с для прямого тока. Анализ кривых релаксации показывает, что в интервале 200 ÷ 430 с кривая нарастания тока укладывается в зависимость

$$I = I_0 \left[ 1 - \exp \left( -\frac{t}{\tau} \right) \right] \quad (4)$$

с  $\tau = 80$  с. При  $t < 200$  с кривая релаксации может быть описана суммой

$$\sum_i I_i = \sum_i I_{0i} \left[ 1 - \exp \left( -\frac{t}{\tau_i} \right) \right]. \quad (5)$$

Кривая релаксации прямого тока в интервале 100 ÷ 240 с следует зависимости (4) с  $\tau = 40$  с, ниже 100 с — зависимости (5). Энергетическое положение уровней ловушек, если его рассчитывать по времени теплового выброса  $\tau = \tau_0 \exp \frac{E_{ti}}{kT}$  с  $\tau_0 \sim 10^{-13}$  с, оказывается для  $\tau = 40$  с равным 0.81 эВ, для  $\tau = 80$  с — 0.83 эВ. Для малых времен в начале кривых релаксации  $E_{ti} \geq 0.75$  эВ.

В энергетический интервал 0.75 ÷ 0.83 эВ попадают уровни захвата электронов, найденные в работе [4]. Падение фотоэда в атмосфере  $\text{H}_2$  связано, с одной стороны, с уменьшением высоты барьера Шоттки аналогично, например, [5], а с другой — с захватом неосновных носителей дырок (или электронов) при перезарядке исходных (фоновых) центров захвата и на "временные" уровни, созданные водородом, поглощенным на границе Pd-CdTe. Последний фактор уменьшает длину диффузионного смещения. Вследствие обеих причин изменение фотоэда составляет 20–30% в первом случае и 11–15% во втором. В связи с уменьшением барьера Шоттки следовало бы ожидать роста темновых токов в атмосфере  $\text{H}_2$ . Однако как прямой, так и обратный токи падают, в отличие от данных [5]. Это является следствием захвата неравновесных электронов и дырок как на фоновые уровни, так и на "временные", упомянутые ранее; это и является основной причиной изменения темновых токов. Так как кристаллы  $n(p)$ -CdTe частично компенсированы, можно предположить, что акцепторные центры в нижней половине запрещенной зоны являются активными центрами захвата дырок, в верхней половине — электронов. В энергетический интервал 0.75 ÷ 0.83 эВ, а также, вероятно, и с меньшими значениями  $E_{ti}$  попадают уровни захвата, инициированные водородом, которые увеличивают как захват дырок, так и электронов.

## Список литературы

- [1] *Semiconductors and semimetals* (N.Y.-London, Acad. Press, 1978) v. 13.
- [2] М. Ламперт, П. Марк. *Инжекционные токи в твердых телах* (М., Мир, 1973) гл. 4, с. 97.
- [3] A. Castaldini, A. Cavallini, B. Fraboni. *J. Appl. Phys.*, **83**(4), 2121 (1997).
- [4] T. Takebe, J. Saraie, H. Matsunami. *J. Appl. Phys.*, **53**(1), 457 (1982).
- [5] Г.Г. Ковалевская, М.М. Мередов, Е.В. Руссу, Х.М. Салихов, С.В. Слободчиков. *ЖТФ*, **63**, вып. 2, 185 (1993).

Редактор Т.А. Полянская

## Influence of deep traps on current transport in Pd-p(n)-CdTe structures

S.V. Slobodchikov, Kh.M. Salikhov, E.V. Russu

A.F. Ioffe Physicotechnical Institute,  
Russian Academy of Sciences,  
194021 St. Petesburg, Russia