

Photoconductivity of the $Pb_{1-x}Ge_xTe$ alloys doped with gallium and ytterbium

E. P. Skipetrov, E. A. Zvereva, A. V. Golubev

Physics Faculty, M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

V. E. Slyn'ko

Institute of Material Science Problems, Chernovtsy, Ukraine

The photoelectric properties of the $Pb_{1-x}Ge_xTe$ alloys doped with Ga and Yb were investigated under controlled infrared (IR) illumination. An effect of persistent photoconductivity at $T = 4,2$ K and long-term relaxation processes at $T \leq T_c$ were revealed. The main parameters characterizing the photoconductivity kinetics were determined. At the onset of the kinetic curve in $Pb_{1-x}Ge_xTe:Ga$, there observed an anomalous delay of the photoresponse and peak of negative photoconductivity, which are discussed assuming a photoinduced transition of the part of crystal volume to the cubic phase.

УДК 621.383.4

Характеристики позиционно-чувствительных фотоприемников на основе слоев $nCdTe:In$

Э. А. Сенокосов, В. В. Сорочан

Приднестровский государственный университет, Тирасполь, Молдова

Приведены результаты исследования выходных характеристик позиционно-чувствительных фотоприемников (ПЧФ) на основе полупроводниковых поликристаллических слоев $nCdTe:In$. Физический принцип их работы основан на выделении сигнала, возникающего в форме поперечной разности потенциалов на эквипотенциальной линии тока, при локальном освещении приемного элемента ПЧФ с четырьмя квадратно-расположенными контактами. Показано, что по ряду основных параметров выходные характеристики ПЧФ соответствуют теоретически рассчитанным.

Среди полупроводниковых датчиков особое место занимают позиционные сенсорные элементы, предназначенные для регистрации и преобразования в аналоговый или цифровой электрический сигнал информации о пространственных перемещениях механических и светоизлучающих объектов. Из позиционных видеосенсорных устройств одними из первых были разработаны ПЧФ на основе $p-n$ -перехода [1], в работе которых использовался эффект возникновения продольной фотоэлектродвижущей силы при неравномерном освещении $p-n$ -перехода.

Следующим этапом использования такого рода оптоэлектронных приборов явилась разработка сенсорных элементов, работа которых основывалась на координатной зависимости внутреннего сопротивления фотоприемников [2] и фотоприемников на основе МОП-структур [3].

В работах [4—6] впервые предложены и разработаны ПЧФ на основе однородных полупроводниковых пленок (пластин), работа которых основана на нетрадиционной схеме расположения и коммутации электрических контактов. Среди преимуществ фотоприемников такого рода можно выделить расширение спектров фоточувствительности за счет примесной области и существенное упрощение технологии их изготовления.

В данной работе исследованы выходные характеристики ПЧФ, изготовленных на основе поликристалли-

ческих слоев $nCdTe:In$, которые получались методом вакуумного напыления в квазизамкнутом объеме на стеклянные подложки. Легирование проводилось соиспарением атомов In, играющих в CdTe роль мелкой донорной примеси. Слои напылялись в форме диска толщиной 20—50 мкм и радиусом $R = 6$ мм. Удельное сопротивление полученных слоев в зависимости от уровня легирования изменялось от 10^3 до 10^6 Ом·см. Кратность их фотоответа при освещенности 500 лк составляла величину 10—20.

Приемные элементы ПЧФ изготавливались следующим образом. На слой $nCdTe:In$ наносились линейные индиевые контакты (A, B, C, D), расположенные в вершинах квадрата (рис. 1). К одной паре контактов (A и C), размещенных на концах его диагонали, подключался источник входного напряжения и через фотоэлемент пропускался ток I . К двум другим контактам (B и D), расположенным на эквипотенциальной линии тока, подключался резистор нагрузки, с которого снималось “поперечное” выходное напряжение U_{BD} , возникающее при локальной засветке поверхности приемного элемента ПЧФ. Его появление можно рассматривать как следствие разбаланса цепи интегрального электрического моста, в четырех плечах которого до освещения находятся одинаковые пространственно распределенные сопротивления полупроводникового слоя. Оптическое зондирование поверхно-

сти приемного элемента ПЧФ осуществлялось по кругу с использованием сфокусированного пучка интегрального света радиусом $a = 0,5$ мм. Выходные характеристики ПЧФ определялись величиной выходного напряжения U_{BD} , зависящего от местоположения и интенсивности светового пятна, а также от величины тока I .

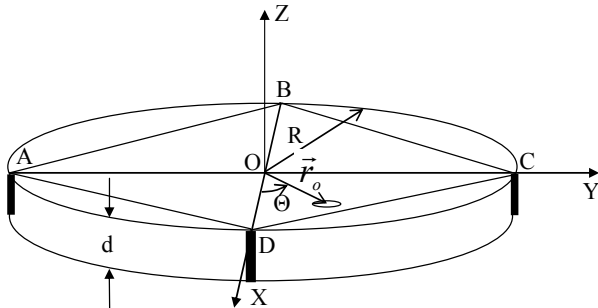


Рис. 1. Схема квадратного расположения контактов приемного элемента ПЧФ с "привязкой" координат исследуемых точек и пятна засветки

Зависимость чувствительности ПЧФ определяется особенностью распределения потенциала по поверхности фотоприемника при его локальной засветке и протекании электрического тока I . В частности, для фотоприемника, изготовленного в форме диска, по краям которого нанесены четыре квадратно-расположенных контакта (см. рис. 1), зависимость выходного сигнала U_{BD} от координат пятна засветки определяется выражением [7]:

$$U_{BD} = \frac{\delta\sigma}{\sigma} \frac{a^2}{R^2} \frac{I}{\pi\sigma d} \frac{8r_{00}^2 \sin 2\Theta_0}{(1-r_{00}^4)^2 + 4r_{00}^4 \sin^2 2\Theta_0}, \quad (1)$$

где $r_{00} = r_0/R$, r_0 — модуль радиус-вектора пятна засветки;

d — толщина полупроводникового диска;

Θ — угол между вектором r_0 и положительным направлением оси X ;

σ — удельная электропроводность;

$\delta\sigma$ — изменение удельной электропроводности при локальной засветке в точке r_0 .

Интенсивность использованного оптического зонда была такой, что относительная величина фотоответа в области засветки приемного элемента ПЧФ имела значения $\delta\sigma/\sigma \leq 0,07$ и тем самым обеспечивала выполнение условия $\delta\sigma/\sigma \ll 1$, необходимого при выводе соотношения (1).

На рис. 2 представлены теоретически рассчитанные согласно (1) зависимости безразмерной разности потенциалов $V_{BD} = U_{BD}/N$ от координат пятна засветки для различных значений безразмерного радиуса зондирования r_{00} , здесь $N = (\delta\sigma a^2 I)/(R^2 \pi \sigma^2 d)$. При построении диаграмм на радиус-векторах, проведенных из начала декартовых координат X и Y , связанного с центром O фронтальной поверхности диска, под соответствующим углом Θ

откладывались в выбранном масштабе абсолютные значения выходного сигнала V_{BD} . Видно, что диаграммы имеют квадратную симметрию, что является следствием квадратной симметрии приемного элемента. При переходе от одного квадранта к соседнему выходной сигнал меняет знак. Диаграммы чувствительности при $r_{00} \leq 0,7$ (см. рис. 2; кривые 1—3) представляют собой систему однолепестковых фигур, причем большим значениям r_{00} отвечают большие величины $V_{AB}(\Theta)$. Для них абсолютные максимумы функции $V_{AB}(\Theta)$ лежат на биссектрисах прямых углов между диагоналями квадрата $ABCD$.

Полярные диаграммы при $r_{00} > 0,07$ представляют собой систему симметричных двулепестковых фигур (см. рис. 2; кривые 4—7). В этом случае абсолютные максимумы функции V_{AB} лежат в точках пересечения окружности сканирования со сторонами квадрата $ABCD$ (см. вставку на рис. 2). С увеличением r_{00} максимумы функции V_{AB} смещаются к ближайшим осям X и Y . При засветке точек приемного элемента, находящихся на осях X и Y , выходной сигнал равен нулю. Для значений угла $\Theta = (2n + 1)\pi/4$ с ростом r_{00} от 0 до 0,75 выходной сигнал увеличивается, а затем с дальнейшим ростом r_{00} он уменьшается.

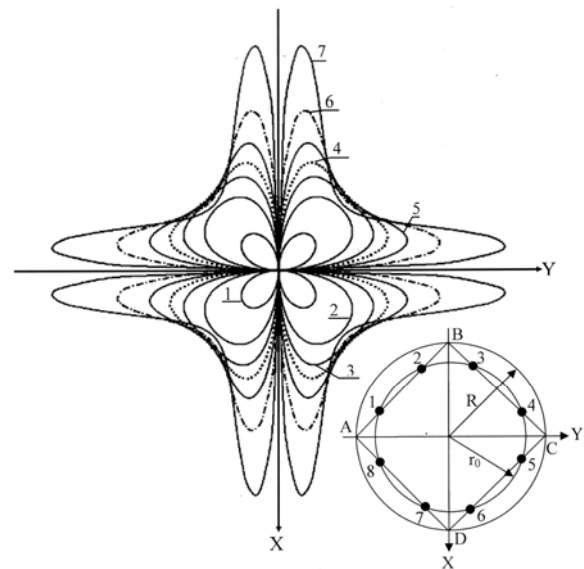


Рис. 2. Полярные диаграммы теоретической зависимости выходного сигнала ПЧФ от координат пятна локальной засветки для значений r_{00} :
1 — 0,4; 2 — 0,6; 3 — 0,7; 4 — 0,75; 5 — 0,8; 6 — 0,85;
7 — 0,9.

На вставке отмечены точки (1—8), соответствующие максимальной чувствительности ПЧФ при $r_{00} > 0,7$

На рис. 3, а представлена полярная диаграмма экспериментальной зависимости выходного сигнала U_{BD} позиционно-чувствительного фотоприемника $n\text{CdTe:In}$ от координат светового зонда, снятая для радиуса оптического зондирования $r_{00} = 0,36$ (см. рис. 3, кривая 1). Видно, что она имеет симметрию, близкую к квадратной. Знак сигнала меняется при переходе от одного квадранта к соседнему и достигает максимального значения при локальной засветке точек, расположенных вблизи биссектрис углов между осями X и Y — $r_0 = (r_0, \Theta$

$= (2n + 1) \pi/4$, $n = 0, 1, 2, 3 \dots$). Сигнал U_{BD} принимает значения, равные нулю, при засветке точек приемного элемента ПЧФ, лежащих на осях X и Y , — $r_0 = (r_0, \Theta = n\pi/2, n = 0, 1, 2, 3 \dots)$. На этом же рисунке приведена теоретически рассчитанная в соответствии с формулой (1) полярная диаграмма безразмерной разности потенциалов V_{BD} для $r_{00} = 0,36$ (см. рис. 3, а; кривая 2). Она накладывалась на экспериментальную диаграмму (кривая 1) с использованием такого масштабного коэффициента, который обеспечивал лучшее их совпадение. Видно, что экспериментальная и теоретическая диаграммы хорошо коррелируют между собой как по форме, так и положению максимумов чувствительности. Экспериментальная диаграмма чувствительности ПЧФ, снятая для $r_{00} = 0,8$ (см. рис. 3, б; кривая 1), как видно, имеет по два максимума в каждом квадранте, что коррелирует с теоретическими расчетами (см. рис. 3, б; кривая 2).

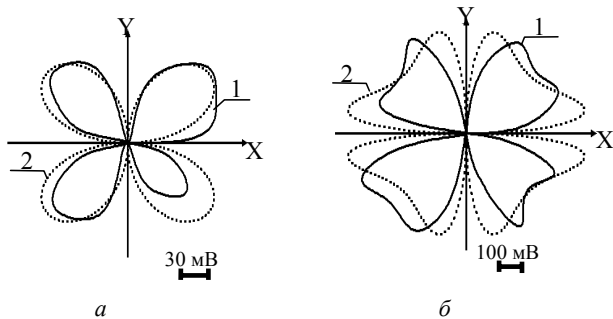


Рис. 3. Полярные диаграммы экспериментальной (кривые 1) и теоретической (кривые 2) зависимостей выходного сигнала ПЧФ от координат пятна засветки для $I = 20$ мкА и двух значений r_{00} : а — 0,36; б — 0,8

На рис. 4 представлена экспериментальная зависимость выходного сигнала ПЧФ от величины тока I через фотоприемник $nCdTe:In$, снятая для трех фиксированных значений координат засветки: $r_{00} = 0,23, \Theta = \pi/4$; $r_{00} = 0,46, \Theta = \pi/4$; $r_{00} = 0,7, \Theta = \pi/4$ (кривые 1—3). Видно, что эта зависимость, как и следует из формулы (1), описывается линейной функцией. При этом с увеличением значения r_{00} при заданной величине Θ угол наклона прямой $U_{BD} = f(I)$ возрастает, что также согласуется с теоретическими расчетами. Зависимость выходного сигнала ПЧФ от интенсивности зондирующего луча (см. рис. 4; кривая 4) близка к линейной в широком диапазоне интенсивностей света.

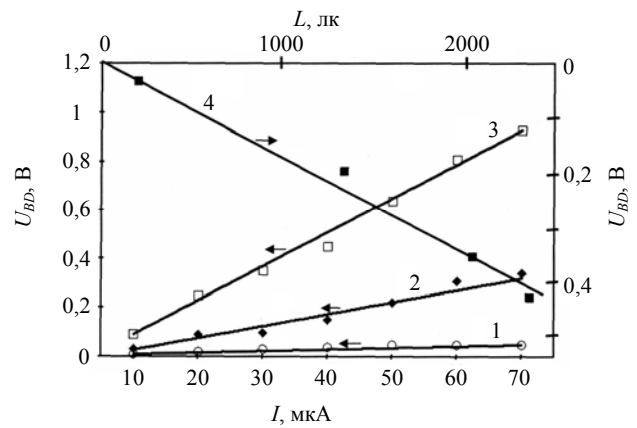


Рис. 4. Зависимость выходного сигнала ПЧФ $nCdTe:In$ от величины тока через фотоприемник (кривые 1—3) для трех значений координат засветки: 1 — $r_{00} = 0,23, \Theta = \pi/4$; 2 — $r_{00} = 0,46, \Theta = \pi/4$; 3 — $r_{00} = 0,7, \Theta = \pi/4$; и от интенсивности света зондирующего пучка (кривая 4) для $I = 40$ мкА и $r_{00} = 0,7, \Theta = \pi/4$

Рис. 5 отражает экспериментальную зависимость выходного сигнала ПЧФ, снятого для фиксированных значений тока $I = 20$ мкА и угла $\Theta = \pi/4$, от радиуса зондирования приемного элемента $nCdTe:In$ (кривая 1). Как видно, она хорошо коррелирует с теоретически рассчитанной зависимостью $U_{BD} = f(r_{00})$ (кривая 2).

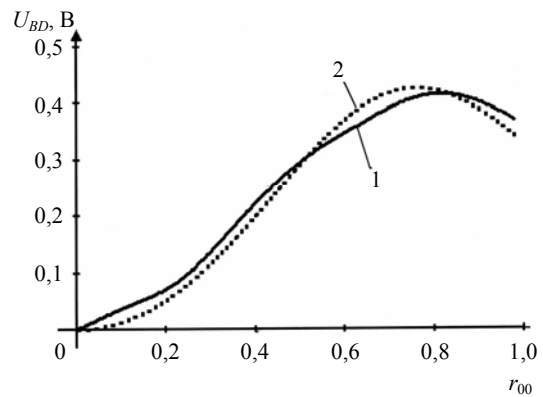


Рис. 5. Экспериментальная (1) и теоретическая (2) зависимости выходного сигнала ПЧФ $nCdTe:In$ от r_{00} для значений тока $I = 20$ мкА и угла $\Theta = \pi/4$

Удельная интегральная чувствительность ПЧФ на основе слоев $nCdTe:In$, определяемая величиной выходного напряжения, отнесенного к единичным значениям тока, протекающего через фотоприемник, и мощности оптического зонда, достигает величины 6 мВ/(мкА·Вт).

Выводы

Результаты экспериментального и теоретического исследования характеристик и параметров ПЧФ, изготовленных на основе слоев $nCdTe:In$, позволяют заключить, что они согласуются, по следующим позициям:

- выходной сигнал ПЧФ меняет знак при переходе от одного квадранта приемного элемента к соседнему;

- при засветке точек приемного элемента ПЧФ, находящихся на осях X и Y , — $r_0 = (r_0, \Theta = n\pi/2, n = 0, 1, 2, 3 \dots)$, выходной сигнал равен нулю;

- для радиусов светового зондирования $r_{00} \leq 0,7$ выходной сигнал достигает максимального значения при засветке точек приемного элемента ПЧФ, находящихся на биссектрисах углов между осями X и Y ;

- для радиусов зондирования $r_{00} > 0,7$ на диаграммах зависимости выходного сигнала ПЧФ от положения пятна засветки имеются по два максимума в каждом квадранте приемного элемента;

- характер зависимости выходного сигнала ПЧФ от интенсивности и радиуса оптического зондирования, а также величины тока через приемный элемент согласуется с теоретически рассчитанной.

Имеющие место некоторые отклонения экспериментальных характеристик и параметров ПЧФ от теоретически рассчитанных, очевидно, связаны с имеющей место некоторой неоднородностью поликристаллических слоев $n\text{CdTe:In}$ [8].

Л и т е р а т у р а

1. Полупроводниковые фотоприемники и преобразователи излучения/ Под ред. А. И. Фримера, И. И. Таубкина — М.: Мир, 1965.

2. Марченко А. Н., Свечников С. В., Смовж А. К. Полупроводниковые сенсорные потенциометрические элементы. — М.: Радио и связь, 1988.

3. Hirohiko Niu, Chihiro Aoki, Tetsuro Matsuda, et al.// Japanese J. Appl. Phys. 1987. V. 26. № 1. P. L35.

4. Устройство для регистрации слабых световых сигналов/ Сенокосов Э. А., Клюканов А. А., Усатый А. Н., Сергеев С. А., Федоров В. М.: А. с. 1436796. СССР. 08.07.87.

5. Устройство для определения координаты светового пятна/ Клюканов А. А., Сенокосов Э. А., Усатый А. Н., Федоров В. М.: А. с. 1499119. СССР. 08.04.89.

6. Клюканов А. А., Сенокосов Э. А., Сорочан В. В., Цирулик Л. Д.// ЖТФ. 2003. Т. 73. № 5. С. 123.

7. Клюканов А. А., Сенокосов Э. А., Богинский Д. Е., Сорочан В. В., Феценко Л. В.// Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2003. № 1. С. 49.

8. Пат. ПИМР 262. 02.10.2003/ Сенокосов Э. А., Сорочан В. В., Цирулик Л. Д. Способ контроля качества полупроводников пленки.

Статья поступила в редакцию 8 февраля 2005 г.

Performances of positionally-sensing photodetectors on the basis of stratum $n\text{CdTe:In}$

E. A. Senokosov, V. V. Sorochan

T. Shevchenko State University of Pridnestrovye, Tiraspol, Moldova

Results of examination of output characteristics of positionally-sensing photodetectors (PSP) are given on the basis of semiconductor polycrystalline layers CdTe:In . The physical principle of their operation is based on allotment of the optical signal incipient in the shape of a cross potential difference on an equipotential line of a current, at local irradiating female device PSP with four contact electrodes located in the shape of a quadrate. It is shown, that on a series of key parameters output characteristics PSP correspond theoretically designed.

УДК 621.315

Моделирование процессов выращивания кристаллов $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ из газовой фазы

А. А. Мельников, Н. А. Кульчицкий, А. Н. Кульчицкий

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (Технический университет), Москва, Россия

Рассмотрены вопросы математического моделирования процессов выращивания кристаллов CdZnTe в условиях химического переноса и физического транспорта компонентов квазибинарного соединения в системах CdTe—ZnTe—H_2 , CdTe—ZnTe—Ar . Разработанная модель позволяет рассчитывать значения констант равновесия реакций, парциальных давлений компонентов, коэффициентов взаимной диффузии, массопотоков в системе, а также других параметров многокомпонентной реакционной газовой смеси в широких интервалах температур и исходного состава.

Халькогениды цинка и кадмия, а также твердые растворы на их основе являются широкозонными полупроводниками,

обладающими высокой чувствительностью к электромагнитным волнам вплоть до самых