

**УПРАВЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ  
ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ  $Cd_xHg_{1-x}Te$  С ИНВЕРСНЫМ  
ПРИПОВЕРХНОСТНЫМ СЛОЕМ**

**Н.Д.ИСМАИЛОВ, Э.К.ГУСЕЙНОВ, Ш.М.КУЛИЕВ, А.А.РАДЖАБЛИ**

*Институт Физики НАН Азербайджана  
AZ 1143, Баку, пр. Г.Джавида, 33*

На основе монокристаллов  $p-Cd_xHg_{1-x}Te$  с тонким приповерхностным инверсным слоем реализован фотоприемник с управляемой напряжением смещения спектральной характеристикой фототока. Особенности спектральной характеристики фототока объясняются изменением соотношения между поверхностными и объемными компонентами фототока при изменении напряжения смещения. Показана возможность одновременной регистрации и управления спектральной характеристикой фоточувствительности на краю фундаментального поглощения и в коротковолновой области спектра.

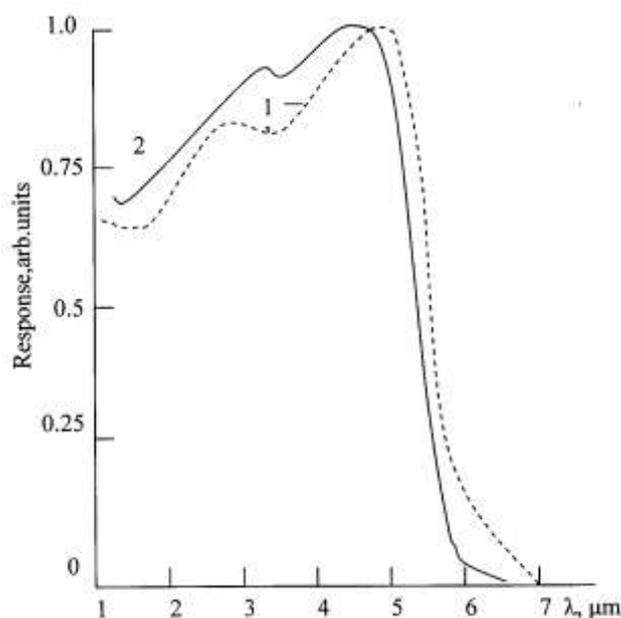
**ВВЕДЕНИЕ**

Спектральная зависимость фоточувствительности фотоприемников является одной из важных характеристик, определяющих возможность их практического применения. Важная характеристика фотоприёмников - спектральная характеристика их фоточувствительности. В некоторых случаях в оптоэлектронике для спектрального анализа принимаемого излучения возникает необходимость в фотоприёмниках, в которых спектральную характеристику фоточувствительности можно менять путём приложения изменяемого внешнего напряжения [1]. К таким типам фотоприёмников относится МДП-фоторезисторы, в которых используется увеличение проводимости приповерхностных слоёв полупроводника при соответствующем потенциале на затворе [2]. При этом достигается подъём спектральной характеристики фоточувствительности в коротковолновой области спектра без изменения длинноволновой границы фоточувствительности, определяемой краем фундаментального поглощения. В работе [3] мы сообщали о некоторых особенностях фотопроводимости  $p$ -типа  $Cd_xHg_{1-x}Te$  ( $x=0,28$ ) с инверсным слоем, полученным ионным травлением. В данной работе описывается экспериментально изготовленный фотоприёмник на основе  $Cd_xHg_{1-x}Te$  ( $x=0,28$ ) с инверсным приповерхностным слоем, спектральная характеристика фоточувствительности которого может управляться приложенным напряжением как в коротковолновой области, так и в области длинноволновой границы.

**МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБРАЗЦЫ**

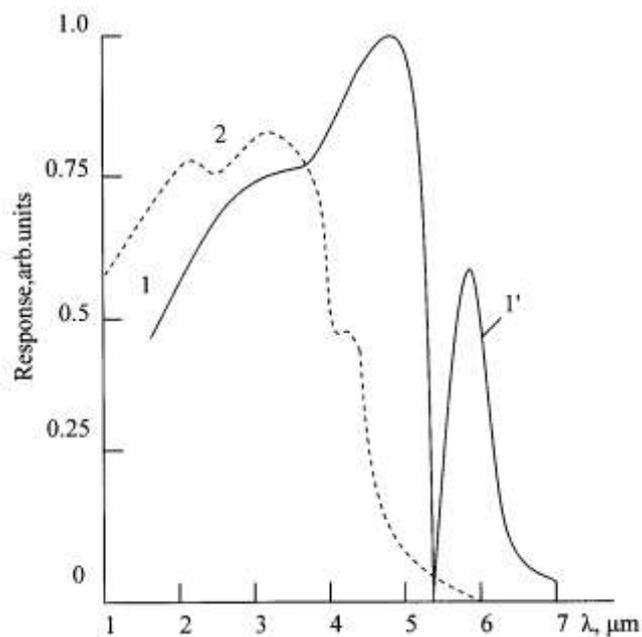
Для изготовления экспериментальных образцов использовались объемные монокристаллы  $Cd_xHg_{1-x}Te$  ( $x \leq 0.3$ ) компенсированные  $p$ -типа проводимости с  $N_A - N_D = (1-4) \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  и  $\mu_p = (4-6) \cdot 10^2 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{сек.}$  при 77К. Пластинам придавалась прямоугольная форма с размерами  $5 \cdot 1 \cdot 0,1 \text{ мм}$ , затем они подвергались механической полировке с последующим травлением в 4% растворе брома в метаноле. Инверсный слой формировался путем ионной имплантации ионов индия энергией  $6 \text{ кэВ}$  и дозой  $10^{14} \div 10^{15} \text{ см}^{-2}$  [4]. Токосъемный контакт наносился на одном конце образца на  $n$ -слой, а на другом конце на  $p$ -слой на расстоянии  $50 \text{ мкм}$  от края инверсного слоя, как в [3]. Измерения спектральной зависимости фотопроводимости проводились по стандартной методике при модулированном освещении при усилении сигнала с фазовым детектированием.

При освещении образца модулированным излучением без приложения напряжения смещения регистрируется сигнал, спектральная характеристика которого показана на Рис.1. При подаче напряжения смещения, соответствующего обратному смещению р-п перехода, величина сигнала и его спектральное распределение изменяются незначительно. При малых напряжениях смещения, соответствующих прямому смещению р-п перехода, спектральная характеристика состоит из двух участков с разными знаками величины фотосигнала - длинноволнового (ДВ) участка с максимумом чувствительности в области края фундаментального поглощения -  $\lambda^1$  и коротковолнового (КВ) участка с максимумом на некотором  $\lambda^2 < \lambda^1$ , который смещается в КВ область по мере увеличения напряжения смещения (Рис.2), при этом ДВ участок постепенно исчезает.



**Рис.1.**

Спектральное распределение фоточувствительности р-Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te с инверсным приповерхностным слоем, без (1) и при обратном напряжении 0,5В (2).



**Рис.2.**

Спектральное распределение фоточувствительности р-Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te с инверсным приповерхностным слоем, при прямых напряжениях: 1, 1' - 0.1; 2 - 1.1В. Кривые 1и 1'соответствуют фототокам, находящимся в противофазе.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде всего отметим, что исходная р-область почти не фоточувствительна из-за малой величины времени жизни носителей заряда  $\tau < 20$ нсек. Однако наличие в структуре рекомбинационного барьера значительно увеличивает время жизни неравновесных носителей заряда  $\tau_b$  и фоточувствительность образца. Подвижность электронов в данном образце более чем в 500 раз превышает подвижность дырок, поэтому проводимость п-слоя существенно больше проводимости р-слоя.

При нулевом напряжении смещения и обратных смещениях сигнал на внешнем нагрузочном резисторе образуется только за счет электронно-дырочных пар, разделяемых в ОПЗ р-п перехода. Спектральная зависимость фоточувствительности в этом случае описывается выражением

$$S_i = eI \frac{\eta}{h\omega} \left( 1 - \frac{e^{-kd}}{1 + kL_e} \right),$$

где  $I, \omega, k$  – интенсивность, частота и коэффициент поглощения излучения, соответственно,  $\eta$ -квантовая эффективность,  $L_e$  - длина диффузии электронов в р-слое.

При приложении прямого напряжения смещения, когда р-п переход смещен в прямом направлении, проводимость осуществляется по п-слою. При освещении структуры фотоэлектроны, генерируемые, в том числе и в р-слое, скапливаются у внешней границы п-слоя, а фотодырки - у границы области пространственного заряда и квазинейтральной р-области. Таким образом, модуляция проводимости п-слоя осуществляется только фотоэлектронами. При этом фототок фотопроводимости направлен встречно фототоку р-п перехода, т. е. они находятся в противофазе и в соответствии с [5] упрощённо можно записать

$$S_I = eI \frac{\eta}{h\omega} \left\{ \frac{U}{l^2} (\mu_n + \mu_p) \left[ \tau_b(U) \left( 1 - \frac{e^{-kd}}{1+kL} \right) + \tau_v (1 - e^{-kd}) \right] - C(U) \left( 1 - \frac{e^{-kd}}{1+kL} \right) \right\},$$

где  $\mu_n, \mu_p$  - подвижность электронов и дырок, соответственно,  $U$ - приложенное напряжение,  $l$ , -длина образца,  $d$ -толщина п –слоя,  $\tau_b(U), \tau_v$  – барьерное и объёмное время жизни неравновесных носителей заряда в п-слое,  $C(U)$ - введенный коэффициент, учитывающий зависимость фототока в р-п переходе от напряжения смещения.

При малых значениях приложенного прямого напряжения, когда эти компоненты соизмеримы и направлены встречно, в области края поглощения доминирует фототок р-п перехода, а в КВ области в противофазе - фототок фотопроводимости. Длина волны, на которой происходит смена знака фототока, зависит от напряжения смещения. По мере увеличения напряжения прямого смещения величина барьера уменьшается, что приводит к уменьшению времени жизни носителей заряда в ОПЗ - $\tau_b(U)$ . Поэтому фотоэлектроны, достигающие ОПЗ и рекомбинирующие там, не участвуют в фотопроводимости п-слоя, если  $\tau_b < \tau_v$ . При этом спектральная зависимость п-слоя стремится к зависимости

$$S_I = eI \frac{\eta}{h\omega} \frac{U}{l^2} (\mu_n + \mu_p) (1 - e^{-kd}),$$

а вклад фототока р-п перехода стремится к нулю, что и наблюдается экспериментально.

Таким образом, на основе однородного полупроводника с постоянной шириной запрещённой зоны принципиально возможно реализовать фотоприёмник, спектральную характеристику которого можно управлять приложенным напряжением смещения.

1. В.Л.Бакуменко, А.Н.Свиридов, *Прикладная физика*, №1 (1999) 34.
2. В.А.Зуев, В.Г. Попов, *Фотоэлектрические МДП-приборы. М.Радио и связь*,(1983) 160.
3. Н.Д.Исмаилов,Ш.М.Кулиев,Ф.Х.Гусейнов,С.А.Гейдаров, *Transactions of Azerbaijan Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXVI** №5 (2006) 114.
4. Н.Д.Исмаилов, Э.К.Гусейнов, И.С.Гасанов, С.А.Гейдаров, *Прикладная Физика*, №1 (2008) 74.
5. В.А.Зуев,В.Г.Литовченко,В.Г.Попов,Г.А.Сукач, *Полупроводниковая техника и микроэлектроника*, Вып. 12 (1973) 32.

**İNVERS SƏTHYANI Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te-un FOTOHƏSSASLIĞININ SPEKTRAL  
XARAKTERISTIKASININ IDARƏOLUNMASI**

**N.C.İSMAYILOV, E.K.HÜSEYNOV, Ş.M.QULIYEV, Ə.Ə.RƏCƏBLI**

p-Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te monokristalı əsasında nazik invers səthyanı gərginliklə fotocavabın spektral xarakteristikası idarəolunan fotohəssas cihaz hazırlanmışdır.

Fotocərəyanın spektral xarakteristikasının xüsusiyyətləri gərginliyin dəyişməsi nəticəsində səthi və həcmi komponentlərin nisbətlərinin dəyişməsi ilə izah olunur. Spektrin qısdalğalı oblastında və fundamental udulma sərhəddində fotohissetmənin spektral xarakteristikasını eyni zamanda qeyd etmə və idarə etmə mümkünlüyü göstərilmişdir.

**THE CONTROLLING OF SPECTRAL RESPONSE OF Hg<sub>1-x</sub>Cd<sub>x</sub>Te WITH INVERSE SURFACE  
LAYER**

**N.J.ISMAILOV ,E.K.GUSEYNOV, SH.M.GULIYEV, A.A.RAJABLI**

On the p-Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te bulk crystal based with thin interface inverse layer the detector with spectral response controlled by bias voltage have been realized. The peculiarity of spectral dependence of photocurrent is explained by correlation between surface and bulk photocurrent components under different bias voltage. It was shown the possibility of simultaneous registration and control of spectral dependence of response as on the fundamental absorption edge as on the short wavelength area of spectrum.

Редактор: Дж.Абдинов