

УДК 621.315.592

ФОТОРЕЗИСТОР ЭКСКЛЮЗИОННОГО ТИПА УВЕЛИЧЕННОЙ ПЛОЩАДИ НА ОСНОВЕ $p\text{-Hg}_{0,8}\text{Cd}_{0,2}\text{Te}$

**Ф.Н.КАЗИЕВ, Ш.М.КУЛИЕВ, Ф.Х.ГУСЕЙНОВ,
Р.И.МУХТАРОВА**

*НИИ фотозлектроники АН Азербайджанской республики,
Баку-370141, ул.Ф.Агаева 555 кв-л
(Поступило 30.09.94)*

В фотопроводящих детекторах высокое быстродействие реализуется в режиме полной эксклюзии избыточных неосновных носителей заряда. В статье описывается конструкция фоторезистора эксклюзионного (пролетного) типа с увеличенной приемной площадкой. Приводятся результаты исследований фотозлектрических характеристик и параметров изготовленных образцов фоторезисторов с приемной площадкой около $1 \times 1 \text{ мм}^2$ на основе монокристаллов $p\text{-Hg}_{0,8}\text{Cd}_{0,2}\text{Te}$.

Инерционность фоторезисторов на основе $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ ($x \approx 0,2$) определяется, как правило, временем жизни неравновесных носителей заряда и составляет обычно единицы микросекунд. Повышение быстродействия может быть реализовано при работе фоторезистора в режиме полной эксклюзии избыточных носителей заряда, когда они вытягиваются сильным тянущим электрическим полем из объема образца до того, как успевают рекомбинировать. В этом случае инерционность определяется временем пролета t_a полной длины приемной площадки L неосновными носителями, которое падает обратно пропорционально приложенному напряжению смещения U_b : $t_a = \frac{L^2}{\mu_a U_b}$, где μ_a - амбиполярная дрейфовая подвижность [1,2].

Однако, достаточно высокое быстродействие реализуется в эксклюзионных фоторезисторах только при очень малых размерах приемной площадки ($10^{-4} \div 10^{-3} \text{ см}^2$). При простом (пропорциональном) увеличении размеров площадки время пролета резко возрастает, т.е. снижается быстродействие. Быстродействие может быть восстановлено за счет увеличения напряжения смещения U_b . Однако рост U_b ограничивается выделяемой в объеме фоторезистора тепловой мощностью, которая возрастает при этом пропорционально квадрату площади фоторезистора. Это обстоятельство ограничивает возможности применения приборов такого типа в импульсных системах.

В настоящей работе приведена конструкция и некоторые фотоэлектрические характеристики фоторезистора, позволяющего повысить быстродействие в режиме вытягивания без уменьшения приемной площадки и без увеличения рассеиваемой мощности.

Решение уравнения непрерывности в амбиполярном приближении для $HgCdTe$ с учетом эффекта вытягивания, приводит к следующему выражению для фотоэлектрического усиления [3]:

$$G = (1 + b) \frac{\mu_p E}{L} \tau_{eff} \quad (1),$$

где b - отношение подвижностей электронов и дырок $\left(b = \frac{\mu_n}{\mu_p} \right)$,

E - напряженность электрического поля $\left(E = \frac{U_b}{L} \right)$,

τ_{eff} - эффективное время жизни неосновных носителей заряда

$$\tau_{eff} = \tau \left[1 - \frac{\mu_a E \tau}{L} \left(1 - e^{-\frac{L}{\mu_a E \tau}} \right) \right] \quad (2).$$

В выражениях (1) и (2) предполагается, что уровень оптического возбуждения низкий, скорость поверхностной рекомбинации пренебрежимо мала, а механизм рекомбинации таков, что времена жизни электронов и дырок равны друг другу $\tau_n = \tau_p = \tau$.

Из выражений (1) и (2) следует, что в слабом электрическом поле ($\mu_a E \tau \ll L$) $\tau_{eff} \approx \tau$ и фотоусиление возрастает пропорционально приложенному полю ($G \approx \tau E$). В сильном электрическом поле, когда длина амбиполярного дрейфа $\mu_a E \tau \gg L$, из выражения (2) получаем

$\tau_{eff} \approx \frac{1}{2} \frac{L}{\mu_a E} = \frac{1}{2} t_a$. Эффективное время жизни неосновных носителей

становится средним временем пролета и падает обратно пропорционально приложенному полю. При этом фотоусиление достигает насыщения и не зависит от напряженности электрического поля

$$G = \frac{1}{2} (1 + b) \frac{\mu_p}{\mu_a} \quad (3).$$

Фоторезистор снабжается промежуточными электродами, выполненными в виде полос металлизации, нанесенных на тыльную поверхность чувствительного элемента так, чтобы интервалы между ними были равны друг другу и меньше дрейфовой длины неосновных носителей заряда. При этом электроды через один гальванически соединены между собой. Быстродействие фоторезистора определяется временем пролета t_i интервалов l_i между соседними электродами неосновными носителями заряда:

$$t_i = \frac{l_i^2}{\mu_a U_i}, \text{ где } U_i - \text{напряжение между двумя}$$

соседними электродами, равное приложенному к фоторезистору напряжению смещения U_b , так как электроды через один закорочены между собой. Конструкция фоторезистора приведена на рис. 1а. Нетрудно показать, что при условии одинаковой рассеиваемости мощности быстродействие данного фоторезистора будет выше, чем у обычного фоторезистора такой же площади приблизительно во столько же раз, во сколько полная длина приемной площадки L больше интервала l_i между соседними электродами. Контакты при этом должны быть омическими.

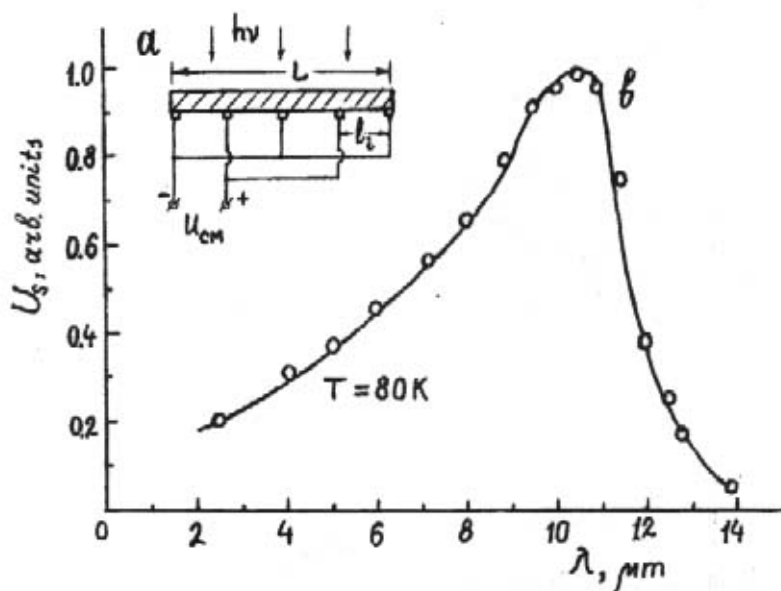


Рис. 1, а - Модель образца с промежуточными электродами;
 б - Спектральное распределение фотосигнала изготовленного образца. Вид образца приведен на рис. 2.

На рис. 2а приведен общий вид изготовленного образца фоторезистора увеличенной площади с тремя электродами. Фоторезистор

выполнен в геометрии с "высокими контактами" и содержит электроды 2 и 3 расположенные со стороны приемной площадки 1. Третий электрод выполнен в виде полосы металлизации шириной $\approx 0,1$ мм на тыльной стороне чувствительного элемента и равноудален от контактов 2 и 3. Фоторезистор смонтирован на лейкосапфировой подложке 4 с металлизированной областью 5 специальной формы, обеспечивающей контакт с тыловым электродом. Электроды 2 и 3 закорочены между собой. Фоторезисторы выполнялись на основе монокристаллов $Hg_{1-x}Cd_xTe$ ($x \approx 0,2$) p -типа с концентрацией дырок $p = (1+2) \cdot 10^{15}$ см $^{-3}$ при $T = 80$ К. Темновое сопротивление фоторезистора при $T = 80$ К составляло $R_p \approx 270$ Ом. Размеры приемной площадки около 1×1 мм 2 .

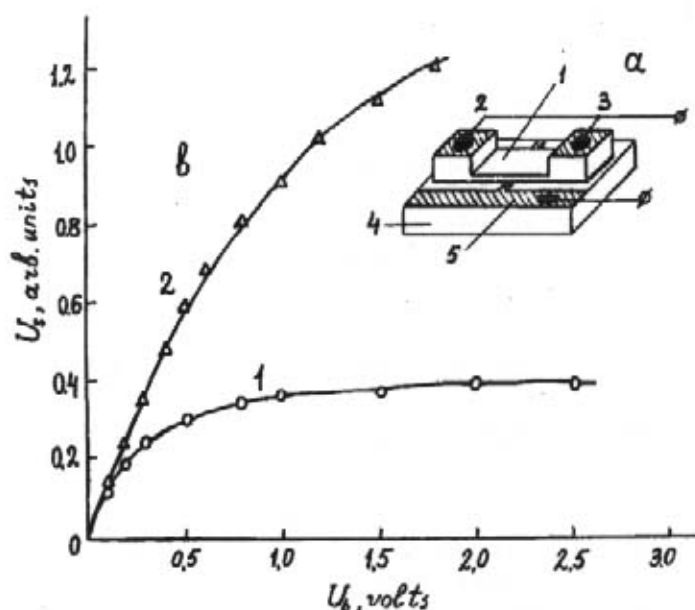


Рис. 2, а - Общий вид фоторезистора на основе $p-Hg_{0,8}Cd_{0,2}Te$ с одним промежуточным электродом;
 б - зависимость фотосигнала U_s от напряжения смещения. Плюс источника напряжения на тыловом электроде 5 (кривая 1), и на высоких контактах 2 и 3 (кривая 2). $T = 80$ К.

На рис. 1, б приведена спектральная характеристика чувствительности при температуре 80 К. Максимум спектральной чувствительности расположен при $\lambda_{max} \approx 10,5$ мкм. Ширина запрещенной зоны, найденная по длинноволновому спаду спектральной характеристики, составляет около 0,1 эВ.

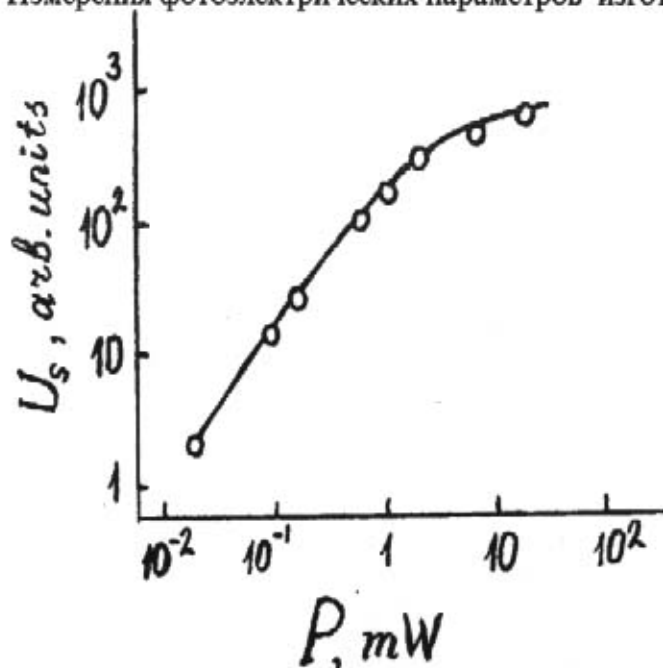
На рис. 2,в приведена зависимость фотосигнала U_s от напряжения смещения при возбуждении монохроматическим излучением с $\lambda \approx \lambda_{max}$. Кривая 1 относится к случаю, когда на высокие контакты 2 и 3 подается минус, а на тыловой электрод - плюс источника напряжения смещения. Ясно видно насыщение фотосигнала при увеличении напряжения смещения, свидетельствующее о вытягивании избыточных неосновных носителей заряда. При указанной полярности напряжения амбиполярный дрейф происходит с обеих сторон к центральному электроду, где избыточные носители заряда рекомбинируют. Пролетное расстояние оказывается вдвое меньше оптической длины приемной площадки, что и обуславливает повышение быстродействия по сравнению с обычной конструкцией фоторезистора такой же площади. При напряжении смещения 2 В постоянная времени составляет около 50 нсек, т.е. уменьшается примерно на порядок по сравнению со значением времени жизни в слабом электрическом поле.

При изменении полярности приложенного напряжения на обратное (плюс на высоких контактах 2 и 3, минус - на тыловом электроде) картина резко меняется. Фотосигнал U_s не имеет насыщения (кр. 2), а продолжает монотонно расти с увеличением напряжения смещения т.е. возрастает фотоэлектрическое усиление фоторезистора ($U_s \approx GR_D$). При данной полярности приложенного напряжения амбиполярный дрейф неравновесных носителей заряда происходит от центра приемной площадки в обе стороны в направлении высоких контактов, т.е. пролетное расстояние (до "тянущих" контактов 2 и 3) становится больше оптического размера приемной площадки. При этом, хотя время пролета приемной площадки падает обратно пропорционально U_b , эффективное время жизни τ_{eff} изменяется слабо, так как в области высокого контакта падение напряжения $U_k \ll U_b$. Это обуславливает возрастание фотоэлектрического усиления ($G \approx \tau_{eff} \cdot U_b$) в измеренном интервале напряжения смещения.

На рис. 3 приведена зависимость фотосигнала от мощности принимаемого излучения (энергетическая характеристика фоторезистора). Источником излучения служил CO_2 -лазер ($\lambda \approx 10,6$ мкм), работающий в непрерывном режиме. Излучение прерывалось механическим модулятором с частотой 900 Гц. Мощность излучения контролировалась с помощью калориметрического измерителя ИМО-2. Полярность приложенного напряжения ($U_b = 2$ В) соответствовала кривой 2 на рис. 2, т.е. фоторезистор работал в режиме насыщения фотосигнала. Как видно из рис. 3, энергетическая характеристика остается линейной до значений падающей мощности приблизительно 1 мВт, т.е. до плотности по-

$$\text{тока фотонов} \quad \Phi_0 \approx 5 \cdot 10^{18} \frac{\text{фотон}}{\text{см}^2 \cdot \text{с}}$$

Измерения фотоэлектрических параметров изготовленных фото-

Рис. 3 Зависимость фотосигнала U_s от мощности падающего излучения.

резисторов проводились при $T = 80$ К с помощью установки для измерения спектральных характеристик чувствительности и промышленной установки с источником излучения типа "абсолютное черное тело" с температурой полости 500 К.

Фотоэлектрические параметры изготовленного образца фоторезистора при температуре 80 К составляли: монохроматическая вольтовая чувствительность в максимуме спектральной характеристики чувствительности (в режиме насыщения фотоусиления) $S_{\text{vol.}} = 650$ В/Вт, удельная обнаружительная способность (при частоте модуляции 1200 Гц) $D_{\lambda}^* \approx 6 \cdot 10^9$ см Гц^{1/2} Вт⁻¹.

Таким образом, показана возможность повышения быстродействия фоторезисторов на основе $Hg_{1-x}Cd_xTe$ в режиме полной экспозиции неравновесных носителей заряда, не связанная с уменьшением его приемной площадки или дополнительным увеличением рассеиваемой мощности. Следовательно, предложенные решения позволяют расширить диапазон практического применения быстродействующих фоторезисторов пролетного типа на основе $p-Hg_{1-x}Cd_xTe$.

Литература

1. *Emmons S.R., Ashley K.L.*, Appl. Phys. Lett. 1972, 20, № 4, 167.
2. *Войцеховский А.В., Лиленко Ю.В.*, В кн. "Импульсная фотометрия", Л., 1979, 6, 200.
3. *Williams R.L.*, Infrared Phys., 1968, 8, 337.

F.N. Qazıyev, Ş.M. Quliyev, F.X. Hüsçynov, R.İ. Muxtarova

p-Hg_{0,8}Cd_{0,2}Te ƏSASINDA EKSKLÜZİYA TIPLİ BÖYÜK SAHƏLİ FOTOREZİSTORLAR

Fotokeçirici detektorlarda yüksək həssaslıq qeyri-əsas artıq yük daşıyıcılarının tam eksklüziya rejimini təmin etməklə realizə olunur.

Məqalədə qəbul sahəsi böyüdülmüş eksklüziya tipli fotorezistorun konstruksiyası təsvir olunur. Qəbul sahəsi təqribən $1 \times 1 \text{ mm}^2$ olan *p-Hg_{0,8}Cd_{0,2}Te* monokristalları əsasında hazırlanan fotorezistor nümunələrinin fotoelektrik xarakteristika və parametrlərinin tədqiq edilməsinin nəticələri verilmişdir.

F.N. Kazıev, Sh.M. Kuliev, F.H. Guseynov, R.I. Mukhtarova

SWEET-OUT TYPE *p-Hg_{0,8}Cd_{0,2}Te* PHOTODETECTORS WITH INCREASED AREA

In photoconductive detectors the high speed detection is obtained by the sweet-out of minority carriers. We present a detector construction in which the high speed of response is attained in photoconductive detectors with increased sensitive area.

The photoelectrical characteristics and the parameters of the photoconductor fabricated from *p-Hg_{0,8}Cd_{0,2}Te* with sensitive area of about $1 \times 1 \text{ mm}^2$ are presented.