

Академик АН УзССР Э. И. АДТРОВИЧ, Ю. М. ЮАБОВ, Г. Р. ЯГУДАЕВ

**ПЛЕНОЧНЫЕ ФОТОДИОДНЫЕ МАТРИЦЫ
НА ГЕТЕРОПЕРЕХОДАХ $nCdS - pCdTe$**

1. Обработка распределенного светового потока требует создания матричных структур на базе микроминиатюрных фотоприемников. Фоточувствительные матрицы могут быть использованы в качестве спектрального преобразователя изображения, следящей системы с обратной связью, безвакуумного аналога видикона и т. д. (1-10). Большинство матричных

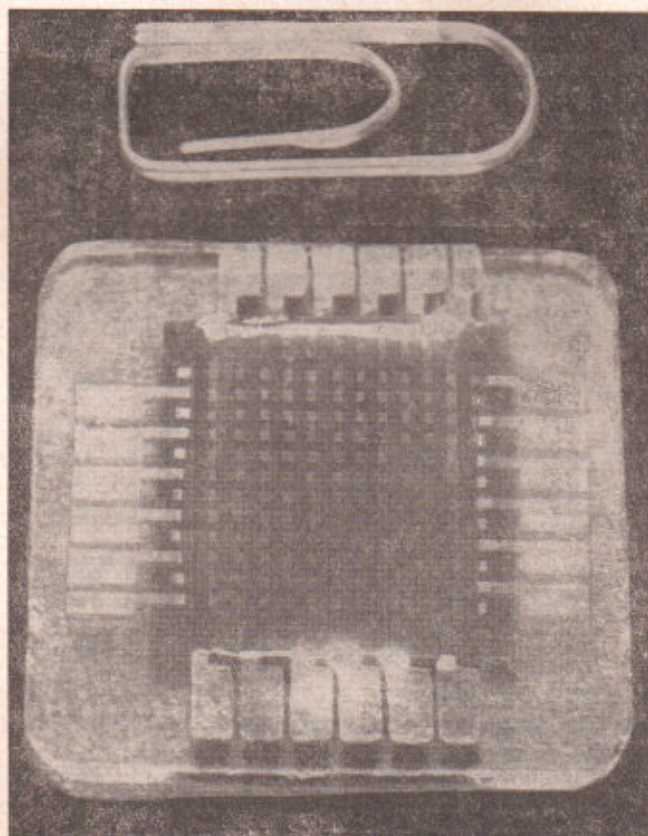


Рис. 1. Внешний вид фотодиодной матрицы

устройств разработано на основе планарной технологии, причем исходными материалами служат монокристаллические пластины кремния, германия, арсенида галлия и др. Современное состояние тонкопленочной технологии и ее возможности позволяют, по-видимому, решить эти же задачи без ограничения площади фоточувствительной матрицы.

В настоящем сообщении описывается пленочная фотодиодная матрица, изготовленная на базе гетеропереходов $nCdS - pCdTe$, некоторые харак-

теристики которых (вольт-амперные, люкс-вольтовые, спектральные и частотные) описаны в работе (11). Перспективность применения гетеродиодов в качестве приемников света обусловлена прежде всего тем обстоятельством, что они обладают широкой полосой спектральной чувствительности с почти постоянным значением квантового выхода, что весьма существенно при обработке оптического сигнала.

2. Внешний вид, электрическая схема и структура микрофотодиодов матрицы изображены на рис. 1 и 2. Эта матрица представляет собой гетероструктуру $nCdS - pCdTe$ с двумя взаимно перпендикулярными системами

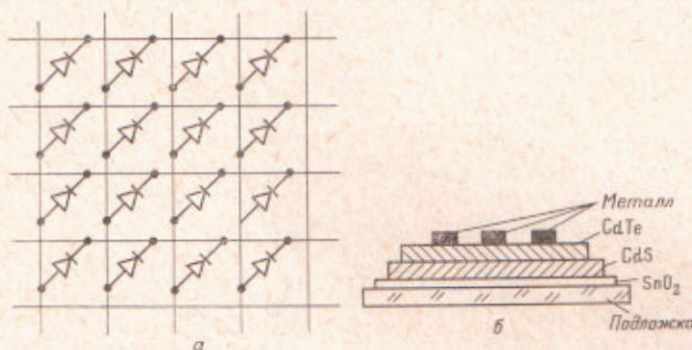


Рис. 2. а — электрическая схема матрицы; б — структура микрофотодиодов

растровых электродов — полосок SnO_2 , сквозь которые производится освещение структуры, и полосок меди, служащих верхними токосъемными электродами. Были изготовлены и исследованы пленочные матрицы со 144 фотодиодами на 1 см^2 при активной площади элемента $0,25\text{ мм}^2$. Достигнутая в этих лабораторных образцах плотность размещения элементов отнюдь не является технологически предельной.

Таблица 1

K ($V = \pm 2\text{в}$)	$J_{\text{обр}}, \text{ а}$ ($V = -1\text{в}$)	$J_{\text{к.з.}}, \mu\text{а}$ ($I = 10^5 \text{ лк}$)	$V_{\text{х.х.}}, \text{ в}$ ($I = 10^5 \text{ лк}$)	$\Delta\lambda, \mu$	$\beta, \text{ ма/лм}$
$10^3 + 10^4$	$2 \cdot 10^{-7} + 2 \cdot 10^{-8}$	$1 \mp 0,15$	$0,46 \mp 0,02$	$500 + 900$	$2,5 \pm 0,4$

3. Наиболее важной проблемой является обеспечение идентичности параметров фотодиодов, образующих матрицу. С этой целью на нескольких матрицах были измерены параметры всех микрофотодиодов. Такими параметрами служили: коэффициент выпрямления K , обратный темновой ток $J_{\text{обр}}$, фототок короткого замыкания $J_{\text{к.з.}}$, напряжение холостого хода $V_{\text{х.х.}}$, интегральная фоточувствительность β , спектральная область фоточувствительности $\Delta\lambda$. Значения этих характеристик и пределы их разброса приведены в табл. 1.

Для работы матрицы в диодном режиме наиболее важным параметром является обратный темновой ток. Как видно из таблицы, в лабораторных образцах разброс обратного тока находится в пределах одного порядка. Этот факт накладывает ограничение на минимальную интенсивность света, которая может быть преобразована в электрический сигнал данной матрицей. Поскольку при интенсивности 10^5 лк ток короткого замыкания составляет 10^{-6} а , минимальная интенсивность света, при которой фототок всех элементов будет идентичен, должна быть $\approx 100 \text{ лк}$.

Если обратный темновой ток и фототок разнесены в частотном диапазоне, то минимальная интенсивность света, которая может быть преобразована, определяется отношением сигнал/шум.

4. Для выяснения вопроса о механизме протекания тока через гетеропереход $n\text{CdS} - p\text{CdTe}$ рассмотрим вольт-амперные (в.-а.х.) и температурные характеристики прямого тока* (рис. 3 и 4). Эксперимент проводился на специально изготовленных единичных образцах с площадью гетероперехода 6 мм^2 .

Рассмотрим теоретические модели гетероперехода, предложенные различными авторами. Доннели и Милнс⁽¹²⁾ анализируют четыре возмож-

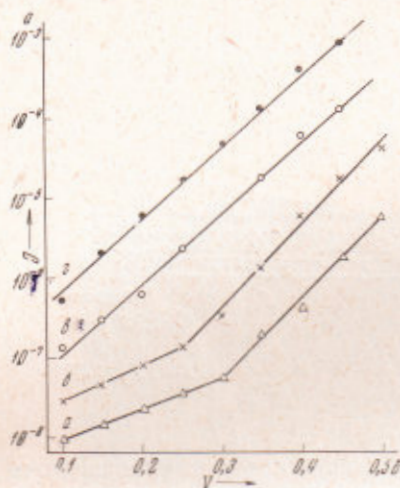


Рис. 3

Рис. 3. Прямая ветвь в.-а.х. при различных температурах: а — 140°K ; б — 200°K ; в — 250°K ; г — 293°K



Рис. 4

Рис. 4. Зависимость прямого тока от температуры при различных приложенных напряжениях: а — $0,1 \text{ в}$; б — $0,2 \text{ в}$; в — $0,3 \text{ в}$; г — $0,4 \text{ в}$; д — $0,5 \text{ в}$

ных механизма: диффузионный (Андерсон⁽¹³⁾), эмиссионный (Перльман и Фехт⁽¹⁴⁾), рекомбинационный (Долега⁽¹⁵⁾) и туннельно-рекомбинационный (Рибен и Фехт^(16, 17)).

Диффузионная, эмиссионная и рекомбинационная модели гетероперехода приводят к однотипным выражениям для прямого тока, из которых следует:

$$\ln J + \text{const} \propto \begin{cases} V & \text{при } T = \text{const}, \\ -\frac{1}{T} & \text{при } V = \text{const}. \end{cases} \quad (1)$$

Рибен и Фехт^(16, 17), исследуя гетеропереход $n\text{Ge} - p\text{GaAs}$, получили экспериментальные данные, не соответствующие ни одной из трех рассмотренных выше моделей. Зависимость $\ln J$ от V у этих гетеропереходов имела практически одинаковый наклон при комнатной и азотной температурах. Температурная зависимость $\ln J$ также не совпадала с выражением (1), а приблизительно могла быть описана прямой BT или двумя такими прямолинейными участками. Как видно из рис. 3 и 4, аналогичный характер имеют полученные нами экспериментальные данные, относящиеся к структуре $n\text{CdS} - p\text{CdTe}$.

Модифицировав туннельно-рекомбинационную модель Чиновца⁽¹⁸⁾, предложенную для объяснения избыточных токов в туннельных диодах,

* В этом исследовании принимала участие Г. И. Неймарк.

Рибен и Фехт получили следующее выражение для прямой ветви в-а.х. гетероперехода:

$$J = BN_t \exp [-\alpha(V_d - k_2V)], \quad (2)$$

где $B = \text{const}$; N_t — плотность ловушек в области объемного заряда;

$$V_d = E_{g1} + \Delta E_v - kT \ln \frac{N_{v2}N_{c1}}{N_{d1}N_{a2}} \quad (3)$$

диффузионный потенциал; V — приложенное напряжение; k_2 — коэффициент, показывающий долю падения напряжения в материале с более широкой зоной;

$$\alpha = \frac{8\pi}{3h} \left(\frac{m^* \kappa}{N_{a2}} \right)^{1/2}; \quad (4)$$

m^* — эффективная масса дырок в широкозонном материале; N_{v2} , N_{c1} — плотности состояний в валентной зоне и зоне проводимости, N_{d1} и N_{a2} — концентрации основной примеси; κ — диэлектрическая проницаемость; индексы 1 и 2 относятся соответственно к узкозонному и широкозонному материалам.

Формула (2) соответствует туннельно-рекомбинационному механизму, согласно которому прохождение тока через гетеропереход осуществляется в результате одноступенчатой или многоступенчатой рекомбинации через локальные уровни и серии последовательных туннельных переходов с уровня на уровень сквозь область объемного заряда. Из формулы (2) следует, что зависимость $\ln J$ от V должна быть прямой линией с наклоном, не зависящим от температуры, а температурная зависимость прямого тока может быть обусловлена только зависимостью диффузионного потенциала от температуры. Согласно (3), это приводит к линейной зависимости $\ln J$ от T .

Характер зависимости тока от напряжения и температуры, установленный нами для гетеропереходов $n\text{CdS} - p\text{CdTe}$, не соответствует диффузионной, эмиссионной и рекомбинационной моделям и находится в согласии с теорией Рибена и Фехта. Это позволяет сделать вывод, что прямой ток через гетеропереход $n\text{CdS} - p\text{CdTe}$ обусловлен туннельно-рекомбинационным механизмом, причем количественное сопоставление эксперимента и теории показывает, что прохождение носителей через гетеропереход носит многоступенчатый характер.

Физико-технический институт им. С. В. Стародубцева
Академии наук УзССР
Ташкент

Получило
18 II 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ P. K. Weimer et al., Proc. IEEE, 55, 1591 (1967). ² Электроника, 39, № 3, 56 (1966). ³ Электроника, 40, № 9, 19 (1967). ⁴ Электроника, 41, № 11, 49 (1968). ⁵ Электроника, 41, № 21, 53 (1968). ⁶ Радиоэлектроника за рубежом, № 26, 23 (1968). ⁷ Special Issue on Solid-State Imaging, IEEE Trans. on Electron Devices, ED-15, № 4, 1968. ⁸ M. A. Schuster, G. Strull, IEEE Trans. on Electron Devices, ED-13, № 12, 907 (1966). ⁹ P. K. Weimer et al., Proc. IEEE, 52, 1605 (1964). ¹⁰ Ф. Н. Масловский, Полупроводниковая техника и микроэлектроника, Киев, 1966, стр. 92. ¹¹ Э. И. Адирович, Ю. М. Юабов, Г. Р. Ягудаев, Физ. и техн. полупроводников, 3, № 1, 81 (1969). ¹² J. P. Donnelly, A. G. Milnes, Proc. IEE, 113, № 9, 1468 (1966). ¹³ R. L. Anderson, Solid-State Electronics, 5, 341 (1962). ¹⁴ S. S. Perlman, D. L. Feucht, Solid-State Electronics, 7, 911 (1964). ¹⁵ V. Dolega, Zs. Naturforsch., 18, 653 (1963). ¹⁶ A. R. Riben, D. L. Feucht, Solid-State Electronics, 9, 1055 (1966). ¹⁷ A. R. Riben, D. L. Feucht, Int. J. Electronics, 20, № 6, 583 (1966). ¹⁸ A. G. Chynoweth, W. L. Feldman, R. A. Logan, Phys. Rev., 121, 684 (1961).