

ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՄԵԽԱՆԻԿԱ
ԵՐԿԵԱՆՈՒՐԴԱՅԻՆ ԼԻԹԻՈՒՄԻ ՆԻՈԲԱՏԻ ԲՅՈՒՐԵՂՆԵՐՈՒՄ

Գ. Տ. ԱՎԱՆԵՍՅԱՆ, Է. Ս. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ, Ր. Ս. ՄԻԿԱԵԼՅԱՆ,
Ռ. Կ. ՀՈՎՍԵՊՅԱՆ, Ա. Ռ. ՊՈԳՈՍՅԱՆ

Փորձնականորեն հետազոտված է ֆոտոքրոմ էֆեկտը երկխառնուրդային $Fe:Cu$ և $Fe:Mn$ ներմտված, լիթիումի նիոբատի բյուրեղներում: Դիտված օրինաչափությունները բացատրվում են առաջարկվող հաշվեկշռային մոդելով, որը հիմնված է տարբեր տիպի խառնուրդային կենտրոնների միջև վերափոխման վրա:

MECHANISM OF PHOTOCROMIC EFFECT IN DOUBLE DOPED
LITHIUM NIOBATE CRYSTALS

G. T. AVANESYAN, E. S. VARTANYAN, R. S. MIKAELYAN,
R. K. HOVSEPYAN, A. R. POGOSYAN

Experimental study of photochromic effect in $LiNbO_3$ crystals codoped with $Fe:Mn$ and $Fe:Cu$ has been carried out. To account for the observed effects a balance model based on the charge transfer between different types of impurity centers is proposed.

Изв. НАН Армении, Физика, т. 28, вып. 1, 24—30 (1993)

УДК 621. 382. 2

ВЛИЯНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ p - n -ПЕРЕХОДА

Г. С. КАРАЯН, А. А. МАКАРЯН, А. Г. МАНУКЯН, И. Р. ОГАНЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 15 сентября 1991 г.)

Теоретически показано существование и экспериментально доказано наличие точки максимума на траекториях точек срыва коллекторных переходов четырех- и пятислойных полупроводниковых структур.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большую часть проблем современной электроники и вычислительной техники можно решить путем использования полупроводниковых многослойных структур. Обобщенная теория многослойных неоднородных полупроводниковых структур (МНПС) приводится в работах [1—3]. Эта теория позволяет достаточно полно проанализировать свойства ВАХ электронно-дырочных переходов МНПС при разных механизмах токопрохождения. В частности, объясняется наличие максимума на зависимости траектории точки срыва напряжения от тока управления $j_{cp} = j_{cp}[V_{cp}(j_y)]$ (где j_{cp} и V_{cp} — ток и напряжение срыва прибора, j_y — ток управления прибора,

который может быть и фототоком), полученной экспериментально для пяти- и шестислойных структур в работах [4, 5].

Теоретически существование этого максимума объясняется тем, что с ростом тока управления структуры лавинный механизм токопрохождения уступает место тепловому и омическому механизмам, при которых, в отличие от лавинного, ток срыва при возрастании тока управления монотонно убывает. Однако из-за недостатка необходимых опытных данных количественное сравнение теории и эксперимента до сих пор осуществить не удалось. Поэтому такое объяснение существования максимума носило лишь гипотетический характер, экспериментальные же исследования в этом направлении могли бы дать результаты, подтверждающие теорию. Так как тип управляющего сигнала (электрический, оптический) не играет никакой роли в вышеуказанном явлении, то целесообразно проведение экспериментов при оптическом воздействии на структуру (во избежание влияния гальванических связей). Помимо этого, преследовалась также цель получить новые приборы оптоэлектроники.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

Экспериментальные исследования проводились на структурах двух типов—четырёх- и пятислойных, что обусловлено простотой технологии изготовления этих структур, относительной лёгкостью измерения их исходных параметров и необходимых электрических характеристик, а также точностью методов сравнения теоретических и экспериментальных результатов.

Структуры изготавливались методами диффузионной технологии. Для четырёхслойных структур применялась технология изготовления обычных тиристоров. Пятислойные структуры изготавливались путем последовательной двусторонней диффузии бора и фосфора в кремний *n*-типа. Перед диффузией фосфора делалась фотолитография, чтобы снять управляющий вывод с четвертой базы структуры. Этот вывод необходим для измерения исходных параметров структуры методом, предложенным в работе [6], и измерения электрических характеристик ее отдельных частей. Для управления структур оптическим сигналом на их соответствующих базах сделаны окна. До изготовления структур предварительно проводился расчет их технологических исходных параметров (ИП), обеспечивающих структурам необходимые свойства: в частности, протекание в них процессов, которые обеспечивали бы возникновение максимума на зависимости $j_{cp} = j_{cp}[V_{cp}(j)]$.

Для структур обоих типов измерялись вольт-емкостные характеристики переходов, ВАХ отдельных коллекторных переходов (в случае пятислойных структур), семейства ВАХ структур при различных значениях потока светового излучения, падающего на их соответствующие базы, и при разных источниках света (когерентный, некогерентный).

Результаты эксперимента приводятся здесь лишь частично, так как некоторые из них приведены в наших предыдущих работах [6,7].

На рис. 1 дано типичное семейство ВАХ (включая и темновую ВАХ—кривая 1) одной из четырехслойных структур при разной интенсивности освещения светодиодом АЛ107А ($\lambda=0,9-1,2$ мкм).

Анализ полученных экспериментальных результатов убеждает в том, что траектория точки срыва напряжения имеет максимум. Измерены координаты этого максимума на плоскости (j, V). На рис. 2 приведена траектория точки срыва напряжения последнего коллекторного перехода пятислойной структуры. На семействе ВАХ четырехслойной структуры (рис. 1) эта траектория показана пунктирной линией.

Проведено измерение ИП структур с целью их сравнения с расчетным набором ИП. Установлено, что свойства ВАХ не зависят ни от типа управляющего сигнала (электрический или оптический), ни от типа источника освещения (когерентный, некогерентный).

На основе развитой в [1—3] теории проведен расчет необходи-

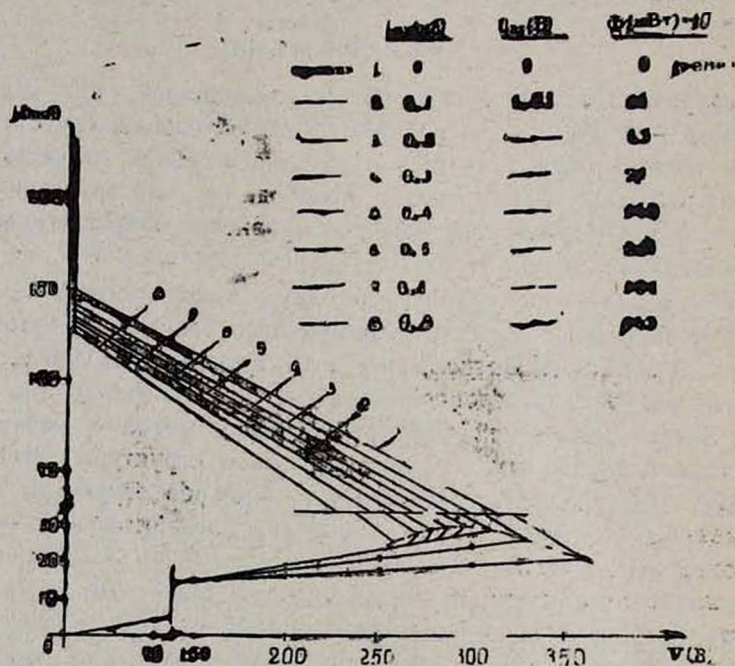


Рис. 1. Типичное семейство ВАХ четырехслойной структуры при различных значениях входных параметров (тока $I_{ВХ}$ и напряжения $U_{ВХ}$ и соответствующих им величин потока излучения Φ светодиода АЛ107А.

мых характеристик рассматриваемых структур. Путем подстановки опытных значений ИП проводилось количественное сравнение соответствующих экспериментальных и теоретических характеристик, получено удовлетворительное согласие.

Для пятислойных структур, кроме проверки существования максимума на траектории точки срыва напряжения, исследовалось так-

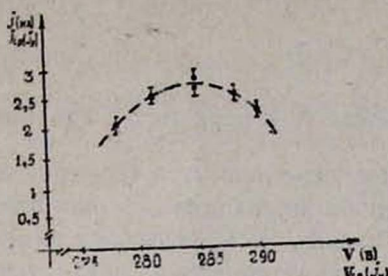


Рис. 2. Траектория точки срыва напряжения последнего коллекторного перехода пятислойной структуры.

же влияние эффекта плазменно-полевого взаимодействия (ЭППВ) на значение этого максимума.

3. ТЕОРИЯ

Модели рассматриваемых структур показаны на рис. 3.

Чтобы избежать повторения, рассмотрим лишь четырехслойную структуру, а для пятислойных структур приведем лишь отличающиеся конечные результаты.

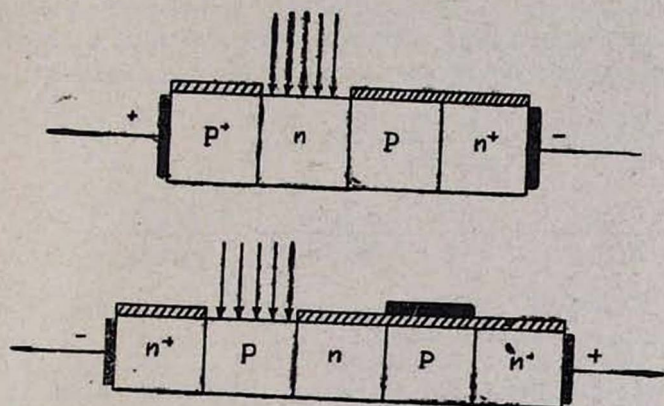


Рис. 3. Модели рассматриваемых структур.

Семейство ВАХ четырехслойной структуры с оптическим управлением (тиристорная оптопара) описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} j = i_1(e^{V_1} - 1) + \beta_2 i_1(1 - e^{-V_2}) + i_1 \delta_1 e^{\frac{V_1}{2}} - j_{y_1}, \\ j(1 - m_2) = \beta_2 i_1(e^{V_1} - 1) + \beta_2 i_3(e^{V_2} - 1) + \Theta_2(1 - e^{-V_2}) + \varphi_2 + j_{y_2}, \\ j = i_3(e^{V_3} - 1) + \beta_3 i_3(1 - e^{-V_2}). \end{cases} \quad (1)$$

(Напряжения на переходах измеряются в единицах $\frac{kT}{e}$). Здесь V_k — напряжение на k -ом переходе, i_k и Θ_k — токи насыщения k -го эмиттерного и коллекторного переходов. β_k — коэффициент передачи носителей по k -й базе, δ_1 и m_2 — коэффициенты объемной рекомбинации и лавинного умножения эмиттерного и коллекторного переходов соответственно, φ_2 — плотность тока, обусловленного внутренними процессами коллектора, а

$$j_{y_1} = \frac{eL_2 g_0}{\operatorname{sh} \frac{W_2}{L_2}} \cdot \frac{\operatorname{ch} \frac{W_2}{L_2} - 1}{(1 + \beta_2 i_1 a_2)} \quad \text{и} \quad j_{y_2} = \frac{eL_2 g_0 \beta_2 i_1}{\operatorname{sh} \frac{W_2}{L_2} i_{c2}} \left(\operatorname{ch} \frac{W_2}{L_2} - 1 \right)$$

есть плотности тока электронно-дырочных пар, рожденных под влиянием оптического излучения в объеме второй базы со скоростью g_0 и с длиной диффузионного пробега L_2 ; W_2 — ширина этой базы. Принимается, что в эмиттерных переходах нет омических утечек, в третьем переходе пренебрежимо мала рекомбинация носителей. Управляющий поток фотонов попадает во вторую квазинейтральную базу.

Из системы (1) нетрудно получить выражения для зависимостей тока и напряжения срыва коллекторного перехода от величины фототока j_{y_1} , продифференцировав которые по j_{y_1} , получим:

$$\begin{aligned} \frac{dV_{cp}}{dj_{y_1}} &= - \frac{\beta_0 + \beta_2}{\varphi_2 + m_2 j_{cp}} > 0, \\ \frac{dj_{cp}}{dj_{y_1}} &= -1 + \frac{i_1 \delta_1^2}{2} \cdot \frac{\beta_2 m_2'}{(\beta_2^* + m_2)^2} \cdot \frac{\beta_2 + \beta_3}{\varphi_2 m_2' j_{cp}}, \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\beta_0 = \frac{j_{y_2}}{j_{y_1}} = \frac{\beta_2 i_1 (1 + \beta_2 i_1 a_2)}{i_{c2}} > 0,$$

$$\beta_2^* = \beta_2 + \beta_3 - 1 > 0.$$

Из (2) следует, что если $j_{cp} > j_{кр}$, то $dj_{cp}/dj_{y_1} < 0$ и с ростом j_{y_1} точка срыва на плоскости (j, V) приближается к началу координат. Если же $j_{cp} < j_{кр}$, то $dj_{cp}/dj_{y_1} > 0$ и точка срыва перемещается вверх по оси Oj и вниз по оси OV . Значение $j_{кр}$ определяется из уравнения

$$\varphi_2' + m_2' j_{cp} = \frac{i_1 \delta_1^2}{2} \frac{\beta_2^2 m_2'}{(\beta_2^* + m_2)^2} (\beta_0 + \beta_2) \quad (3)$$

При заданном механизме токопрохождения через переход, т. е., при известных $\varphi_2(V)$ и $m_2(V)$ уравнение (3) можно решить либо аналити-

чески, либо численно на ЭВМ и найти соответствующее значение тока $j_{y1}^{кр}$, при котором траектория точки срыва напряжения имеет максимум.

В случае пятислойной структуры с $\beta_2^* = \beta_2 + \beta_3 - 1 > 0$, $\beta_3 = 0$, $r_1 = r_3 = \infty$ для траектории точки срыва напряжения на четвертом переходе значения тока срыва j_{4cp} и $j_{y1}^{кр}$ определяются из следующих соотношений:

$$j_{4cp} = \frac{i_1 \beta_1^2}{4} \cdot \frac{1}{\gamma_1 \gamma_2} \left[\left(\frac{\gamma_1 \gamma_5}{m^2 \beta_4} \right)^2 - 1 \right] - \frac{\gamma_3}{\gamma_1} j_{y1}, \quad (4)$$

$$\varphi_4' + m_4' j_{4cp} = \frac{i_1 \beta_1^2}{2 \gamma_1 \gamma_2} \cdot \frac{\gamma_1^2 \gamma_5^2}{(m_4 + \beta_4)^3} \cdot m_4' \cdot \left[\frac{\gamma_1 \gamma_5}{\gamma_3} (\beta_2 + \beta_0) - (m_4 + \beta_4) \right].$$

Здесь

$$\gamma_1 = 1 - \frac{\beta_2 i_1 (1 - \beta_3)}{\Theta_2 - \beta_3^2 i_3}; \quad \gamma_2 = 1 - \frac{\beta_3^2 i_1}{\Theta_2 - \beta_3^2 i_3}; \quad \gamma_3 = 1 - \frac{\beta_2 i_1 (1 - \beta_3)}{\Theta_2 - \beta_3^2 i_3};$$

$$\gamma_5 = \frac{\beta_2 \beta_3 \beta_4 i_3}{\Theta_2^*}; \quad \beta_4 = \frac{\beta_4 (\Theta_2 - \beta_3^2 i_1)}{\Theta_2^*}; \quad \Theta_2^* = \Theta_2 - \beta_3^2 i_1 - \beta_3^2 i_3,$$

m_4 — коэффициент лавинного умножения четвертого коллекторного перехода, φ_4 — плотность тока, обусловленного внутренними процессами этого перехода, r_1 и r_3 — сопротивления омических шунтов первого и третьего эмиттерных переходов.

Как видно из (4), те же зависимости от j_{y1} , характерных токов и напряжений сохраняются также и для четвертого перехода пятислойной структуры, что свидетельствует о сохранении информации, переносимой ЭППВ из одной области в другую несоседнюю область структуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авакянц Г. М., Караян Г. С., Джереджян А. А. Изв. АН АрмССР, Физика, 5, 402 (1974).
2. Караян Г. С., Джереджян А. А. Изв. АН АрмССР, Физика, 12, 487 (1977).
3. Avakyan G. M., Karayan H. S., Dzheredzhyan A. A. and Manukyan A. G. Physics Status Solidi (a), 62, 547 (1980).
4. Грехов И. В., Думаневич А. Н., Евсеев Ю. А., Крылов Л. Н., Лебедев А. А., Липищук И. А., Уваров А. И., Тучкевич В. М., Челников В. Е., Шуман В. Б., Якивчук Н. И. Физика р-п-переходов. Рига, 540 (1966).
5. Грехов И. В., Шуман В. Б. Физика электронно-дырочных переходов и полупроводниковых приборов, /сб. ст./ Ленинград, 202 (1969).
6. Джереджян А. А., Манукян А. Г., Гюрджян Б. М., Караян Г. С. Изв. АН АрмССР, Физика, 5, 257 (1984).
7. Авакянц Г. М., Караян Г. С., Манукян А. Г. Изв. АН АрмССР, Физика, 6, 361 (1983).

**ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ԺԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ԱԶԴԵՅՈՒԹՅՈՒՆԸ
p-n- ԱՆՑՄԱՆ ԷԼԷԿՏՐԱԶԱՂՈՐԴԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ**

Հ. Ս. ԿԱՐԱՅԱՆ, Ա. Հ. ՄԱԿԱՐՅԱՆ, Ա. Հ. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ, Ի. Ռ. ՕԶԱՆՅԱՆ

Տեսականորեն ցույց է տրված և փորձնականորեն ապացուցված է, որ քառաշերտ և հնգաշերտ կիսահաղորդչային կառուցվածքների կոնկետորային անցման լարման խզման կետի հետագիծը ունի մաքսիմում, որի պատճառը հաղորդականության հեղեղային մեխանիզմի փոխվելն է շերտային և օմանական մեխանիզմների:

**INFLUENCE OF OPTICAL RADIATION ON THE
CONDUCTIVITY OF p-n-TRANSITION**

H. S. KARAYAN, A. H. MAKARYAN, A. H. MANUKYAN, I. R. OHANYAN

The existence of maximum on the trajectories of breakaway points of collector junctions of four- and five-layer semiconductor structures was theoretically predicted and experimentally observed.

Изв. НАН Армении, Физика, т. 28, № 1, 30—34 (1993)

УДК 539.1.074:537:538.8

**ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД СТАБИЛИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРОННЫХ УМНОЖИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО CsI
В ВОДОРОДНОЙ СРЕДЕ**

Г. А. АРУТЮНЯՆ. С. А. ЧОБԱՆՅԱՆ, Բ. Ա. ՄՆԱՇԱԿԱՆՅԱՆ, Գ. Բ. ՐՕՏՕՄՅԱՆ

Институт химической физики НАН РА, НТК «Химфизика»

С. М. ГУКАСՅԱՆ, А. А. ШАГИՆՅԱՆ, Э. С. МАРТИРОСՅԱՆ

Институт прикладных проблем физики НАН РА

(Поступила в редакцию 25 февраля 1992 г)

Для понижения гигроскопичности и стабилизации электрофизических параметров пористый CsI обрабатывался низкотемпературной плазмой в среде водорода. Исследования показали, что метод является эффективным для получения стабильных параметров CsI, применяемого в электронных умножителях.

На основе явления дрейфа и размножения электронов в пористых диэлектриках [1] созданы умножители электронов (ЭУ), обладающие высоким быстродействием ($\sim 10^{-11}$ с) и координатным разрешением ($\sim 10^{-3}$ см). Такие умножители можно применять взамен микроканальных пластин или диодных систем фотоэлектронных умножителей, для создания плоских экранов или детекторов ионизирующего излучения и т. д. [2,3]. В качестве диэлектриков обычно используются щелочно-галогенные кристаллы (ЩГК), пористость которых обеспечива-