

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФОТОТОК ДИОДОВ ШОТТКИ

Р. Р. ВАРДАНЯН

Ереванский политехнический институт

(Поступила в редакцию 28 февраля 1991 г.)

Исследовано воздействие магнитного поля на фототок диодов Шоттки с непрозрачным металлическим слоем различных конструкций. Показано, что фототок уменьшается с увеличением индукции магнитного поля, и что это уменьшение сохраняется при изменении направления вектора индукции на противоположное (четный эффект). Показано также, что с уменьшением размеров металлического слоя диода Шоттки увеличивается воздействие магнитного поля на фототок. Установлено, что магнитное поле влияет на фототок р-п-перехода сильнее, чем на фототок диода Шоттки.

Действие магнитного поля на фототок диодных структур изучалось в основном на р-п-переходах. Между тем, такого рода исследования на структурах металл-полупроводник представляют большой научный и практический интерес.

В работе [1] исследовано влияние магнитного поля на фотоэффект диодов Шоттки с полупрозрачным металлическим слоем, предназначенных для преобразования световой энергии. Настоящая работа посвящена исследованию влияния магнитного поля на процесс переноса неосновных носителей заряда, генерированных светом в диодах Шоттки с непрозрачным металлическим электродом.

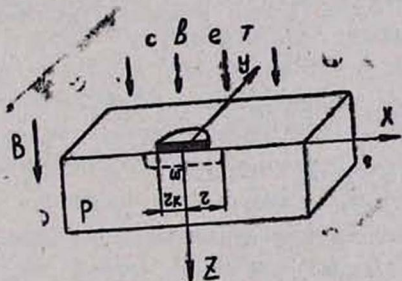


Рис. 1. Структура металл-полупроводник с металлическим электродом круглой формы.

Рассмотрим структуру металл-полупроводник с металлическим электродом круглой формы радиусом r_k на поверхности полупроводника (рис. 1). При освещении такой структуры в полупроводнике генерируются неравновесные носители заряда, которые разделяются дио-

дом Шоттки и создают фототок. Предположим, что структура освещается в коротковолновой области спектральной чувствительности и носители заряда перемещаются в плоскости, параллельной поверхности полупроводника (рассматривается одномерная задача). Под воздействием магнитного поля, которое направлено перпендикулярно поверхности полупроводника, неосновные носители заряда будут перемещаться под углом Холла относительно первоначального направления движения в плоскости XOY. Фототок будет состоять из двух слагаемых, один из которых обусловлен генерацией в р-области, а второй генерацией в области пространственного заряда. Для определения составляющей фототока, обусловленной генерацией в р-области, решим уравнение непрерывности для электронов, которое с учетом влияния магнитного поля в цилиндрической координатной системе запишется в виде

$$\frac{\partial^2 \Delta n}{\partial x^2} + \frac{1}{x} \cdot \frac{\partial \Delta n}{\partial x} - \frac{\Delta n}{D_{nB} \cdot \tau_n} = - \frac{G K e^{-Kx}}{D_{nB}}, \quad (1)$$

где $D_{nB} = D_n / [1 + (\mu_n^* B)^2]$, D_n — коэффициент диффузии электронов при отсутствии магнитного поля, μ_n^* — Холловская подвижность электронов, B — индукция магнитного поля, τ_n — время жизни электронов, G — интенсивность света, проникающая через единицу поверхности образца, K — коэффициент поглощения света в полупроводнике.

Граничное условие для решения этого уравнения имеет вид

$$D_{nB} \left. \frac{\partial \Delta n}{\partial x} \right|_{x=0} = S \Delta n(r), \quad (2)$$

где S — скорость поверхностной рекомбинации на контакте полупроводника с металлом.

Введем новую переменную в выражения (1) и (2) $t = x/L_{nB}$, где $L_{nB} = L_n / [1 + (\mu_n^* B)^2]^{1/2}$, L_n — диффузионная длина электронов при отсутствии магнитного поля. Тогда решение уравнения (1) получим в виде

$$\Delta n(t) = \tau_n G K e^{-Kx} \left[1 - \frac{K_0(t)}{\frac{D_{nB}}{S \cdot L_{nB}} K_1(t_1) + K_0(t_1)} \right], \quad (3)$$

где K_0 и K_1 — функции Бесселя от мнимого аргумента второго рода. $t_1 = r/L_{nB}$.

Подставляя решение (3) в выражение для фототока

$$I_n|_{t=t_1} = 2\pi t_1 \int_0^{\infty} q D_{nB} \frac{\partial \Delta n}{\partial t} dZ,$$

получим

$$I_n = qG 2\pi r L_{nB} \left[\frac{D_{nB}}{S \cdot L_{nB}} + \frac{K_0(r/L_{nB})}{K_1(r/L_{nB})} \right]^{-1} (1 - e^{-Kx}).$$

Фототок, обусловленный генерацией в области пространственного заряда, определяется выражением

$$I_n = \pi (r^2 - r_k^2) q G K \int_0^{\infty} e^{-kz} dz = \pi \omega (r + r_k) q G (1 - e^{-k\omega}),$$

где принимается $\omega = (r - r_k)$.

Суммарный фототок через диод Шоттки будет

$$I_B = I_n + I_w = A \left\{ r L_{nB} \left[\frac{D_{nB}}{S \cdot L_{nB}} + \frac{K_0 (r/L_{nB})}{K_1 (r/L_{nB})} \right]^{-1} + \omega \frac{r + r_k}{2} \right\}, \quad (4)$$

где $A = q G 2\pi (1 - e^{-K\omega})$.

Отметим, что при $S \rightarrow \infty$ выражение (4) совпадает с выражением для фототока р-п-структуры цилиндрической формы [2] без учета составляющей фототока из сильнолегированной области р-п-перехода.

С целью анализа влияния магнитного поля на величину фототока диода Шоттки в зависимости от размеров металлического контакта, рассмотрим относительное изменение фототока $\Delta I = (I - I_B)/I$, где I — фототок диода Шоттки при $B=0$. Для упрощения задачи рассмотрим случай, когда $\omega=0$ и $S \rightarrow \infty$. Как показано в работе [3], скорость поверхностной рекомбинации на контакте полупроводника с металлом может иметь значения $S=10^3-10^4$ см/с. Тогда, принимая $D_{nB}=34$ см²/с получим $D_{nB}/S=31 \cdot 10^{-7}$ мкм. Отсюда следует, что первым слагаемым в квадратных скобках выражения (4) можем пренебречь. Таким образом, будем иметь

$$\Delta I = 1 - \frac{1}{V 1 + (p_n^* B)^2} \cdot \frac{K_1 (r/L_{nB})}{K_0 (r/L_{nB})} \cdot \frac{K_0 (r/L_n)}{K_1 (r/L_n)}. \quad (5)$$

Зависимость относительного изменения фототока от индукции магнитного поля, построенная по формуле (5), представлена на рис. 2. Из рисунка следует, что фототок барьера Шоттки уменьшается с увеличением индукции магнитного поля. При этом, тем больше уменьшается фототок, чем меньше радиус контакта Шоттки, то есть, с уменьшением радиуса контакта увеличивается магниточувствительность структуры. Отметим, что процесс уменьшения фототока с ростом индукции магнитного поля не зависит от направленности вектора (четный эффект).

Если принять, что радиус контакта неограниченно увеличивается, то отношение K_0/K_1 будет стремиться к единице, а выражение (4) запишется в виде

$$I_B = A \left[L_{nB} \left(\frac{D_{nB}}{S \cdot L_{nB}} + 1 \right)^{-1} + \omega \right]. \quad (6)$$

Это выражение представляет собой формулу для фототока диода Шоттки в магнитном поле с металлическим контактом сравнительно больших размеров ($r \gg L$), или для структуры металл-полупроводник с металлическим слоем, ограниченным с одной стороны (рис. 3). Отме-

тим, что выражение (6) получается также путем решения уравнения непрерывности для электронов в p -области при граничных условиях

$$D_{nB} \frac{\partial \Delta n}{\partial x} \Big|_{x=0} = S \Delta n(0), \quad (7)$$

$$\Delta n \Big|_{x=l} = 0$$

и с учетом генерации носителей заряда в области пространственного заряда.

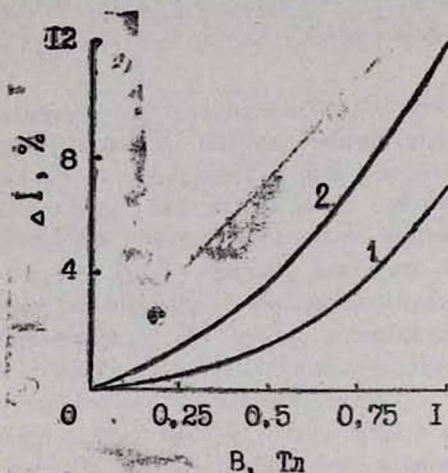


Рис. 2.

х Рис. 2. Зависимость ΔI от индукции магнитного поля. n/L_n :
1—1, 2— 10^{-3} .

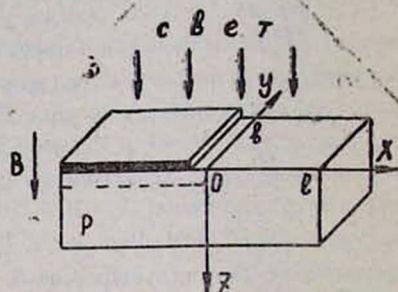


Рис. 3.

Рис. 3. Структура металл—полупроводник с металлическим электродом, ограниченным с одной стороны.

Рассмотрим влияние магнитного поля на фототок диода Шоттки в зависимости от величины скорости поверхностной рекомбинации. С помощью выражения (6) построим зависимость относительного изменения фототока $\Delta I = (I - I_B)/I$ от величины отношения S/D_n (рис. 4). Из рисунка следует, что ΔI увеличивается с ростом отношения S/D_n , то есть фототок под воздействием магнитного поля уменьшается тем сильнее, чем больше скорость поверхностной рекомбинации. Как известно, граничное условие (7) для p - n -структуры записывается в виде

$$\Delta n \Big|_{x=0} = 0,$$

что равносильно условию $S \rightarrow \infty$. Отсюда следует, что магнитное поле влияет на фототок p - n -перехода сильнее, чем на фототок диода Шоттки.

Экспериментальные исследования зависимости фототока от магнитного поля были проведены на образцах диодов Шоттки, изготовленных путем напыления металлического электрода на p -кремний. Образцы помещались в зазор между полюсами электромагнита и освещались моно-

хроматическим светом длиной волны 0,6 мкм (направления магнитного поля и света показаны на рис. 1). Фототок измерялся в зависимости от индукции магнитного поля при различных значениях напряжения обратного смещения $U_{обр}$ (рис. 5). Как и следовало ожидать (формулы 4 и 6), с увеличением ширины обедненной области при увеличении $U_{обр}$ фототок увеличивается.

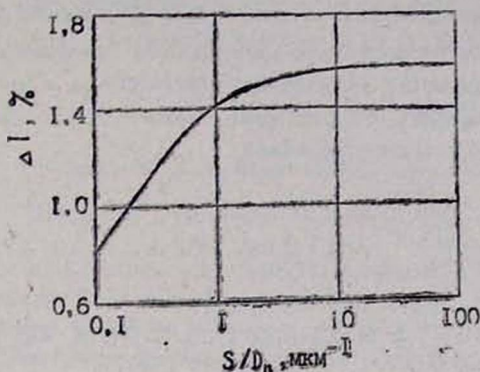


Рис. 4. Зависимость ΔI от отношения S/D_n при значениях параметров: $\mu_n^* = 0,12 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, $\omega = 0$, $L_n = 10 \text{ мкм}$, $B = 1,5 \text{ Тл}$.

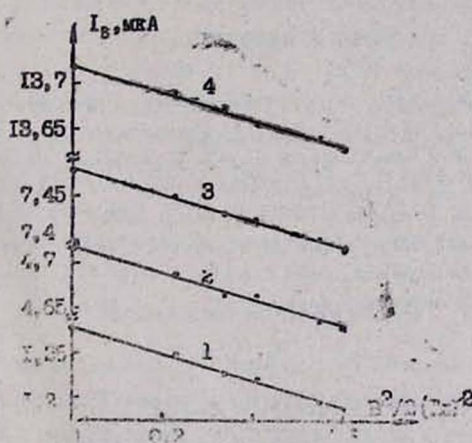


Рис. 5. Зависимость фототока диода Шоттки от величины $B^2/2$. $U_{обр}$:
В: 1—0; 2—0,6; 3—1; 4—1,7.

С учетом того, что для экспериментальных образцов диодов Шоттки выполняется условие $\tau \gg L_n$ рассмотрим выражение (6). Как было показано выше, с целью упрощения задачи, слагаемым $D_{nB}/S \cdot L_{nB}$ относительно единицы можем пренебречь. Тогда получим

$$I_B = A \left[\frac{L_n}{V \sqrt{1 + (\mu_n^* B)^2}} + \omega \right].$$

С учетом того, что $\mu_n^* B < 1$ представим последнее выражение в виде

$$I_B \approx AL_n \left[1 - \frac{(\mu_n^* B)^2}{2} \right] + A\omega.$$

Из полученного выражения следует, что действительно, фототок уменьшается по линейному закону в зависимости от $B^2/2$, и что угол наклона прямой не меняется при различных значениях $U_{обр}$, как это представлено на экспериментально полученных зависимостях (рис. 5).

Рассмотренное явление уменьшения фототока в структурах металл—полупроводник различных конструкций может быть использовано для контроля параметров полупроводников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малинин Ю. Г. и др. ФТП, 19, 1119 (1985).
2. Варданян Р. Р., Клячкин А. Е., Суханов В. А. ФТП, 24, 485 (1990).
3. Стриха В. И., Кильчицкая С. С. ФТП, 1, 993 (1967).

ՄԱԳՆԻՏԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՇՈՏԿԻԻ ԴԻՈԴԵՆԵՐԻ ՖՈՏՈՀՈՍԱՆՔԻ ՎՐԱ

Ռ. Ռ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

Հետազոտված է մագնիսական դաշտի ազդեցությունը անթափանց մետաղական շերտով առարբեր կոնստրուկցիաների Շոտկիի դիոդների ֆոտոհոսանքի վրա: Ցույց է տրված, որ ֆոտոհոսանքը փոքրանում է մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի մեծացմամբ, և որ այդ փոքրացումը պահպանվում է ինդուկցիայի վեկտորը հակառակ ուղղությամբ փոխելու դեպքում (զույգ էֆեկտ): Ցույց է տրված նաև, որ Շոտկիի դիոդի մետաղական շերտի չափերի փոքրացման հետ մեծանում է մագնիսական դաշտի ազդեցությունը ֆոտոհոսանքի վրա: Հաստատված է, որ մագնիսական դաշտը ավելի խիստ է ազդում p-n-անցման ֆոտոհոսանքի վրա, քան Շոտկիի դիոդի ֆոտոհոսանքի վրա:

THE INFLUENCE OF MAGNETIC FIELD ON PHOTOCURRENT OF SCHOTTKY DIODE

R. R. VARDANYAN

The influence of magnetic field on photocurrent of Schottky diode with the nontransparent metal layer of various constructions is investigated. It is shown that the photocurrent decreases with the increase in magnetic field induction, and that effect does not change when the magnetic field direction is reversed (the even effect). It is shown that the influence of magnetic field on the Schottky diode photocurrent increases with the decrease of metal layer size. It has been established that the influence of magnetic field on the p-n-junction photocurrent is higher than on the Schottky diode photocurrent.