

О МЕХАНИЗМЕ ЗАВИСИМОСТИ ОБРАТНОГО ТОКА СЕЛЕНОВОГО p-n ПЕРЕХОДА ОТ ДАВЛЕНИЯ

Г.К. АКБЕРОВ, С.И. МЕХТИЕВА, Н.Э. ГАСАНОВ

*Институт Физики АН Азербайджана
370143, г. Баку, пр. Джавида, 33*

Оценена возможность возникновения генерационно-рекомбинационных центров в области объемного заряда селенового p-n перехода. Показано, что зависимость обратного тока от E в предпробойной области хорошо описывается теорией Фистуля-Оржевского.

Изменение тока полупроводниковых приборов под воздействием давления было отмечено в работе [1], в которой p-n переходы в германии были подвергнуты всестороннему сжатию. Однако интенсивные исследования этого явления в [1] показали, что при давлении острой иглой на поверхность полупроводникового кристалла с p-n переходом, находящимся на малой глубине под поверхностью, возникают также значительные изменения тока через переход.

В настоящей работе рассматриваются основные физические явления, определяющие влияние упругой деформации на электрические характеристики селеновых приборов, приводятся основные закономерности, определяющие чувствительность таких приборов к давлению, и приводятся примеры их использования в электромеханических преобразователях.

Исследованы образцы двух видов: диоды первого вида изготовлены в условиях, при которых в селене, содержащем примесь галоида возникают различные надмолекулярные структуры; диоды второго вида изготовлены на базе чистого селена с примесью мышьяка.

При изучении эффектов, обусловленных влиянием давления на диоды с p-n переходом, важным является

выбор способа приложения давления на изучаемый объект. При этом обычно стремятся получить максимальную трансформацию давления, т.е. сконцентрировать большие механические напряжения в области изучаемого объекта.

Типичные вольтамперные характеристики селенового p-n перехода, подвергнутого давлению, приведены на рис.1. Давление при измерениях не превышало $1 \cdot 10^7$ Па (~ 100 бар), т.е. обеспечивалась упругая деформация и, соответственно, практически полная обратимость параметров после прекращения действия давления.

Высокие механические напряжения, действующие на отдельные кристаллиты, могут превысить предел упругости [2]. Это приводит к их пластическому деформированию с образованием гистерезисов.

По теории [1] при малых давлениях механизм проводимости обусловлен возбуждением обратимых генерационных центров в области объемного заряда.

В общем случае с учетом генерации и рекомбинации в области p-n перехода ток через переход задается выражением:

$$J = \frac{eWp_i}{\tau_i} \left(\exp \frac{eu}{2kT} - 1 \right) + P_i^2 \left(\frac{\sqrt{\mu_p}}{\sqrt{\tau_p \cdot n_n}} + \frac{\sqrt{\mu_n}}{\sqrt{\tau_n \cdot P_p}} \right) \left(\exp \frac{eu}{kT} - 1 \right) \quad (1)$$

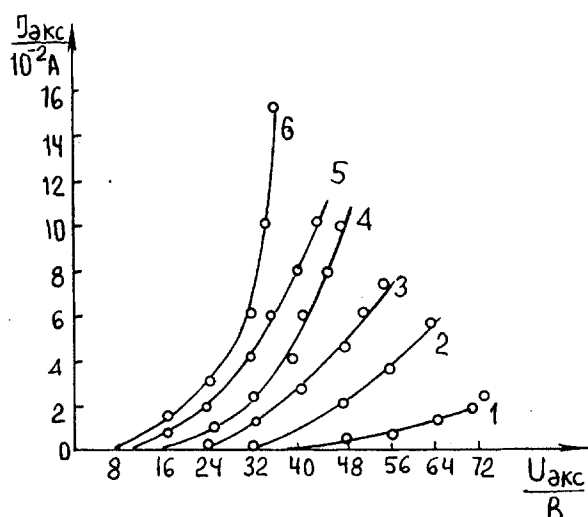


Рис.1. Вольтамперные характеристики при различных давлениях: 1 — $p = 0$; 2 — $p = 2 \cdot 10^6$ Па; 3 — $p = 4 \cdot 10^6$ Па; 4 — $p = 6 \cdot 10^6$ Па; 5 — $p = 8 \cdot 10^6$ Па; 6 — $p = 1 \cdot 10^7$ Па.

Рассмотрим возможные причины наблюдаемых изменений параметров. Из рис.1 видно, что при малых $u_{обp}$ величина $J_{обp}$ незначительно растет с давлением. При увеличении $u_{обp}$ тензоток становится больше, одновременно наблюдается изменение наклона кривых ВАХ. Первое слагаемое (1) учитывает генерационную составляющую обратного тока. Изменение величины $J_{обp}$ и наклона ВАХ можно объяснить воздействием давления на параметры, входящие в это слагаемое. Наблюдено уменьшение времени жизни неосновных носителей тока τ с давлением в пределах от $1,6 \cdot 10^{-6}$ до $0,7 \cdot 10^{-6}$. Однако, как видно из рисунка, наблюдаемое изменение $J_{обp}$ значительно больше кратности изменения τ с давлением. По (1) одним из показателей возбуждения обратимых генерационных центров может быть изменение W с давлением. Для гетеропереходов:

$$W = \frac{\epsilon \sqrt{2(\epsilon_p W_A + \epsilon_n W_D)} (u_K - u)}{4\pi \sqrt{\epsilon \epsilon_p W_A \cdot \epsilon_n W_D}} \quad (2)$$

т.е. основными параметрами, определяющими \bar{W} , являются концентрации ионизованных примесных центров N_A , N_D в области объемного заряда. По емкостным измерениям наблюдаются изменения N_D с давлением от $1,42 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ до $4,1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и N_A - от $1,1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ до $3,8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$.

Одним из критериев, подтверждающих наличие генерационного тока, является удовлетворение соотношения $C_\sigma \cdot J_{\text{оср}} = \text{const}$ (3), где C_σ - барьерная емкость p-n перехода.

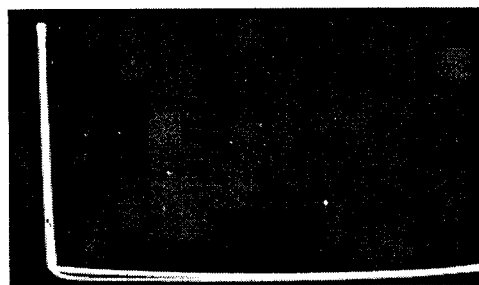
В данных измерениях формула (3) в интервале $u_{\text{оср}}$ до 5-вольт остается постоянной.

Таким образом, изменение τ , рост концентрации ионизованных примесных центров, удовлетворение критерия генерационного тока (3) подтверждает возбуждение давлением обратимых генерационных центров в области объемного заряда. При наличии давления зависимость $J_{\text{оср}}$ от E в предпробойной области хорошо описывается теорией Фистуля-Оржевского

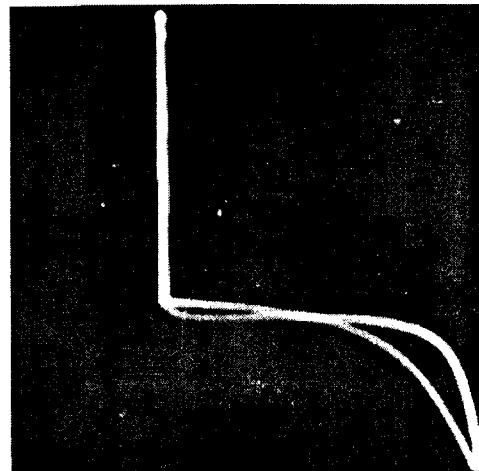
$$J_{\text{оср}} = A \cdot \exp \left[- \frac{e\varphi - f E}{kT} \right] \quad (3)$$

В (3) моделируется поведение полупроводниковых p-n переходов при протекании через них больших токов и исследуется эффект саморазогрева. Показано, что пробой в p-n переходах возникает из-за модуляции проводимости, создаваемой генерацией неосновных носителей. Следовательно, наблюдаемый экспоненциальный рост $J_{\text{оср}}$ обусловлен тензополевым возбуждением неосновных носителей заряда.

Рис.2. демонстрирует влияние давления на динамические характеристики. Видно, что, как в статическом, так и в динамическом режимах, влияние давления сказывается, главным образом, на обратной ветви ВАХ.



(а)



(б)

Рис.2. Динамические вольтамперные характеристики. а - $p = 0$; б - $p = 1 \cdot 10^7$ Па.

Основные закономерности, рассмотренные в вышеуказанных p-n переходах, могут быть применены к другим полупроводниковым приборам, таким, как транзисторы, туннельные диоды, контакт металл-полупроводник и другие.

- [1] W. Rindner, J. Braun. J. Appl. Phys., 1963, 34, № 7, pp. 1958 - 1970.
 [2] В.П. Мугал, М.А. Ром, О.Н. Чугай. Журнал технической физики, 1999, т. 69, вып.2.

- [3] A. Ajith, M-Chang, J. Jenold. JEEE, Trans. Electron Devices, 1993, 40, № 10, pp. 1836-1844.

Н.К. Әкбәров, С.İ. Mehdiyeva, N.E. Həsənov

SELEN p-n KEÇİDLƏRİNDƏ ƏKS CƏRƏYANIN TƏZYİQDƏN ASILILIĞININ MEXANİZMİ HAQQINDA

Selen p-n keçidlərinin həcmi yüksək oblastında təzyiqin təsiri ilə generasiya-rekombinasiya mərkəzlərinin yaranma imkanları qiymətləndirilmişdir.

Göstərilmişdir ki, gərginliyin elektriki deşilmə gərginliyindən aşağı qiymətlərində əks cərəyanın sahədən asılılığı Fistul-Orjevski nəzəriyyəsi ilə izah olunur.

G.K. Akberov, S.I. Mekhtiyeva, N.E. Gasanov

MECHANISM OF RETURN CURRENT DEPENDENCE ON PRESSURE IN A SELENIC p-n TRANSITION

The possibility of generation-recombination centers formation in a space charge field of the selenic p-n transition is estimated. It is shown, that dependence of a return current on E in prebreakdown area is satisfactorily described by the Fistul-Orjevsky theory.