

İONLAŞMA ŞÜALANMASININ YARIMKEÇİRİCİLƏRİN PARAMETRLƏRİNƏ TƏSİRİ

H.S. ƏLİYEV, E.Ə. KƏRİMOV*

Azərbaycan Texniki Universiteti, H. Cavid pros. 25, AZ 1073

*Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Azadlıq pr. 16/21, AZ 1010**

e-mail: E_Kerimov.fizik@mail.ru

Yarımkəçiricilərin həcmində yaranan defektlər sərbəst yük daşıyıcıların n konsentrasiyasının, μ yürlüklüyünün, τ yaşama müddətinin və L diffuziya uzunluğunun dəyişməsinə gətirir. Yarımkəçiricilərin həcmində qeyri-əsas yükdaşıyıcıların yaşama müddəti əsasən birbaşa zona-zona rekombinasiyası ilə deyil, qadağan zonasında yerləşən tələlərin energetik səviyyələri ilə təyin olunur. Radiasiya defektlərinin yaranması yarımkəçiricinin qadağan zonasında dərin energetik səviyyələrin formalaşmasına gətirir ki, bu da həcmi rekombinasiyanın sürətini artırır və deməli, qeyri-tarazlıq vəziyyətində olan yük daşıyıcı cütlərin yaşama müddətini azaldır.

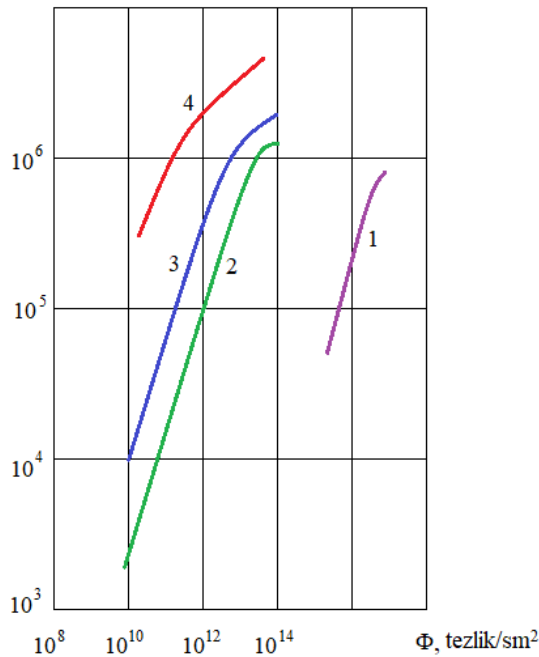
Açar sözlər: sürətlənmiş ionlar, lokal enerji, hədəf, ion bombardmanı, neytral atom, səpilməmiş ionlar.

UOT: 621.383.5

PACS: 73.40.Ns, 73.40.Sx

Elektron cihazların parametrlərinin nominal qiymətləri yalnız onların müəyyən istismar şəraitində reallaşa bilər. Elektron cihazların istismarı müəyyən tələblər və standartlar – elektron cihazların tətbiq olunması haqqında göstərişlər və cihazların konkret sinfi üçün olan göstərişlər əsasında həyata keçirilməlidir.

$\Delta(1/\tau)$, san^{-1}



Şəkil 1. İonlaşdırıcı zərrəciklər selinin Φ inteqral sıxlığının yaşama müddətinin əks qiymətinin dəyişməsinə asılılığı.

Radiasiyanın təsiri ilə şərtlənən yarımkəçirici materialların kristal qəfəsinin defektlərinin xarakteri digər defektlərdən kəskin fərqlənir. Yarımkəçiricinin qadağan olunmuş zonasında bir çoxları rekombinasiya səviyyəsi olan çoxlu sayda səviyyələrin yaranmasına baxmayaraq, eksperimentlərin göstərdiyi kimi, şüalanma

materialda yaşama müddəti bir-iki dominantlıq edən rekombinasiya mərkəzləri ilə təyin olunur: əgər rekombinasiya mərkəzlərinin konsentrasiyası tarazlıqda olan yük daşıyıcıların konsentrasiyası ilə müqayisədə kifayət qədər azdırsa, nəzəri hesablamalar göstərir ki, bir dominantlıq edən səviyyə halında yük daşıyıcıların τ yaşama müddəti rekombinasiya mərkəzlərinin öz növbəsində şüalanmanın inteqral selinə düz mütənasib olan N_r konsentrasiyası ilə tərs mütənasibdir [1-3]. Deməli, şüalanma zamanı yük daşıyıcıların yaşama müddətinin tərs qiymətinin

$$\Delta\left(\frac{1}{\tau}\right) = \frac{1}{\tau} - \frac{1}{\tau_0}$$

dəyişməsi rekombinasiya mərkəzlərinin N_r konsentrasiyası və ya Φ ionlaşdırıcı zərrəciklər selinin inteqral sıxlığı ilə mütənasibdir (burada, τ_0 və τ uyğun olaraq şüalanmadan əvvəl və sonra qeyri-əsas yük daşıyıcıların yaşama müddətidir):

$$\Delta\left(\frac{1}{\tau}\right) = K_\tau \Phi, \quad (1)$$

burada, K_τ – əsas yük daşıyıcıların konsentrasiyasından, radiasiya mərkəzlərinin yaranma sürətindən və onların elektronlarla dolma dərəcəsindən asılı olan qeyri-əsas yükdaşıyıcıların yaşama müddətlərinin radiasiya dəyişməsi əmsəlidir.

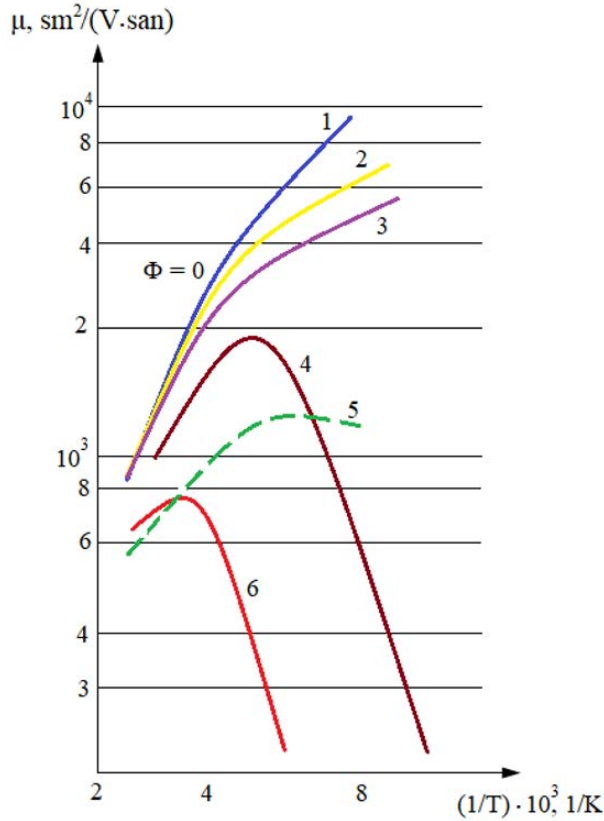
Beləliklə, Φ -nin artması ilə yaşama müddəti azalır, yaşama müddətinin tərs qiymətinin $\Delta\left(\frac{1}{\tau}\right)$ dəyişməsi artır ki, bu da xüsusi müqaviməti $\rho \sim 100 \text{ Om} \cdot \text{sm}$ olan n -Si üçün şəkil 1-də göstərilmişdir. 1 əyrisi – γ – kvantlarla; 2 əyrisi – enerjisi $E_e = 2,5 \text{ MeV}$ olan elektronlarla; 3 əyrisi – $E_e = 30 \text{ MeV}$ olan elektronlarla; 4 əyrisi isə – sürətli neytronlarla şüalanmanın yaşama müddətinə təsirini müəyyən edir.

Yük daşıyıcıların yürlüklüyünə radiasiyanın təsirinin tədqiqinin eksperimental nəticələrinin analizi göstərir ki, yürlüklüyün müşahidə olunan dəyişikliyi yalnız şüalanma nəticəsində yaranan ionlaşmış atomlardan

deyil (şəkil 2-də 4, 5, 6 əyrilərinin azalan sağ budaqları) həm də atomların sürüşmə effekti ilə meydana çıxan fononlardan səpilmə ilə (şəkil 2-də 4, 5, 6 əyrilərinin artan sol budaqları və 2, 3 əyriləri) şərtlənir [4].

2 və 4 əyriləri uyğun olaraq, $\Phi_N = 1,6 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-2}$ və $\Phi_N = 3,3 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-2}$ intensivlikli neytronlar, 3 əyrisi $\Phi_e = 10^{15} \text{ sm}^{-2}$ intensivlikli, 5, 6 əyriləri uyğun olaraq $\Phi_{pr} = 10^{14} \text{ sm}^{-2}$, $\Phi_{pr} = 6 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-2}$ intensivlikli və $E_{pr} = 660 \text{ MeV}$ enerjili protonlar seli ilə şüalandıqda alınmışdır. Aşağı temperaturlarda şüalanma zamanı yürüklüyün nəzərəcarpacaq dərəcədə azalması ($1/T$ -nin

böyük qiyməti) başlanğıc vəziyyətlə müqayisədə ionlaşmış atomların və atom komplekslərinin meydana çıxması ilə şərtlənir. Radiasiya tərpənməz yüklü zərrəciklərin sayını artırır ki, bu da sərbəst yükdaşıyıcıların ionlarla kulon toqquşmasının ehtimalının artmasına və uyğun olaraq yürüklüyün azalmasına gətirir. Şüalanma selinin yarımkəçiricinin maddəsi ilə qarşılıqlı təsirinin fiziki mexanizmləri müxtəlif təbiətə malik olduqlarından, kəmiyyət və keyfiyyət baxımından kifayət qədər fərqlənə bilirlər (cədvələ nəzər sal) [5].

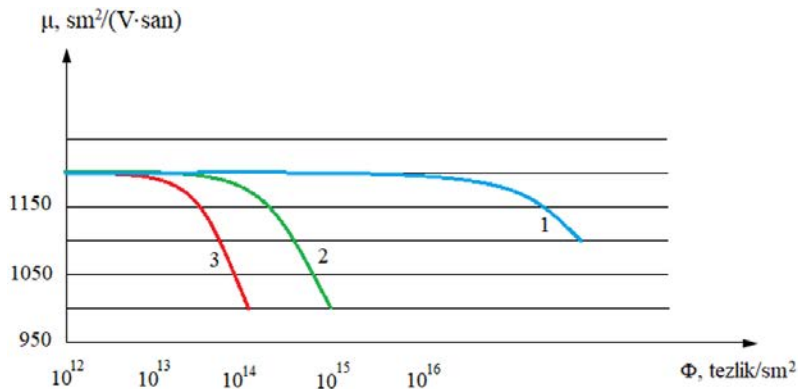


Şəkil 2. Radiasiyanın yük daşıyıcıların yürüklüyünə təsiri.

Cədvəl.

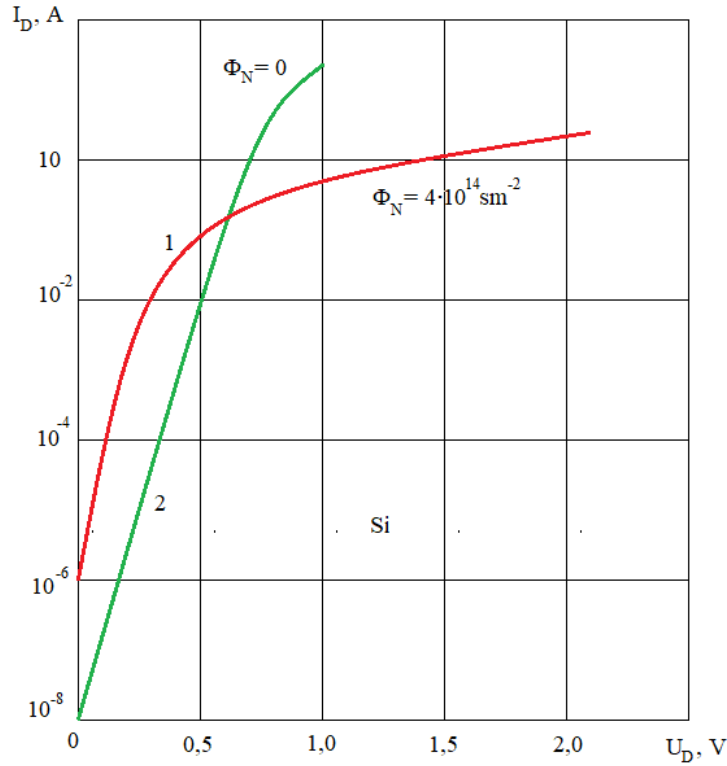
Maddənin 1 sm^3 -da sürüşmüş atomların sayının şüalanmanın növü və enerjisindən asılılığı.

Material	Neytronlar $E_n = 2 \text{ MeV}$	Protonlar		Elektronlar $E_e = 2 \text{ MeV}$
		$E_p = 2 \text{ MeV}$	$E_p = 5 \text{ MeV}$	
Silisiyum $E = 12,9 \text{ eV}$	42	341	148	2,8
Germanium $E = 14,5 \text{ eV}$	62	482	213	1,2

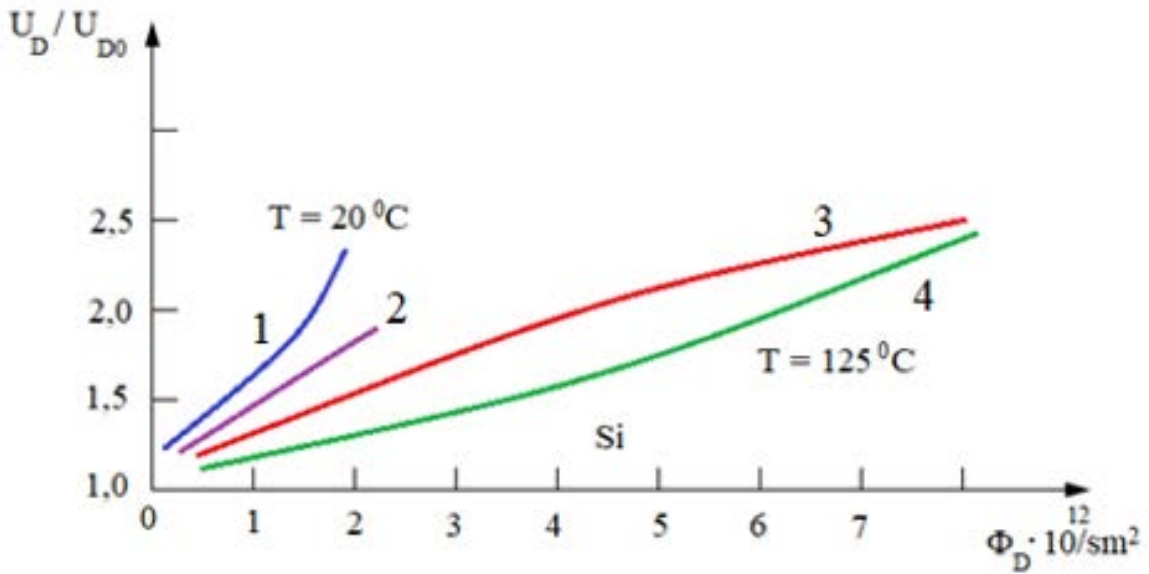


Şəkil 3. Silisiyumda yük daşıyıcıların yürüklüyünün dəyişməsi.

İONLAMA ŞÜALANMASININ YARIMKEÇİRİCİLƏRİN PARAMETRLƏRİNƏ TƏSİRİ



Şəkil 4. Neytronlarla şüalandıqda düz cərəyanların qiymətlərinin geniş diapazonunda VAX.



Şəkil 5. Düz gərginliyin dəyişməsi.

Şüalanma selinin hər bir tipi üçün silisiumda yü-
rükliyənin dəyişməsi müxtəlif olacaqdır. Şəkil 3-də bu
aydın şəkildə verilmişdir (1 əyrisi γ – kvantlar, 2 əyrisi
10 MeV enerjiyə malik elektronlar, 3 əyrisi sürətli
neytronlar).

Silisiumda sərbəst yük daşıyıcıların konsentrasiyasının dəyişməsi aşqarlanmanın o qədər də böyük ol-
mayan səviyyəsində və $\Phi_N > 10^{14}$ neytron/sm² neytron-
lar seli ilə şüalandıqda daha güclü sürətdə baş verir.

Hazırda düzləndirici diodlarda radiasiya effektləri
daha ətraflı öyrənilmişdir. Silisium diodlarında kifayət
qədər böyük enerjiyə malik istənilən növ ionlaşdırıcı
şüalanmanın təsiri zamanı onun tərs keçiriciliyin artma-
sı və düz keçiriciliyin azalması ilə əlaqədar olan ventillər

xassələri deqradasiyaya uğrayır. Deqradasiya sürəti
əsasən bazanın W eni, onun ρ_B xüsusi müqaviməti və
düz cərəyanın I_d qiyməti ilə təyin olunur. Bundan əlavə,
nəzərəçarpaq dərəcədə təsiri şüalanma enerjisi,
aşqarların emitter oblastında konsentrasiyası, konsen-
trasiyanın qradiyenti və bazada dəşiklərin τ_p yaşama
müddəti göstərir (elektron keçiriciliyə malik baza
üçün). Bir çox hallarda silisium diodlarında şüalanma
zamanı ən böyük dəyişikliyə VAX-ın düz budağı uğra-
yır. Ona görə də, diodların radiasiya dayanıqlığını düz
cərəyanın verilmiş I_d qiymətində U_d düz gərginliyin iki-
qat artması üzrə qiymətləndirirlər.

Şüalanma zamanı VAX-ın dəyişməsinə təyin edən
yarımkeçiricilərin əsas elektrofiziki parametrləri τ_p , N ,

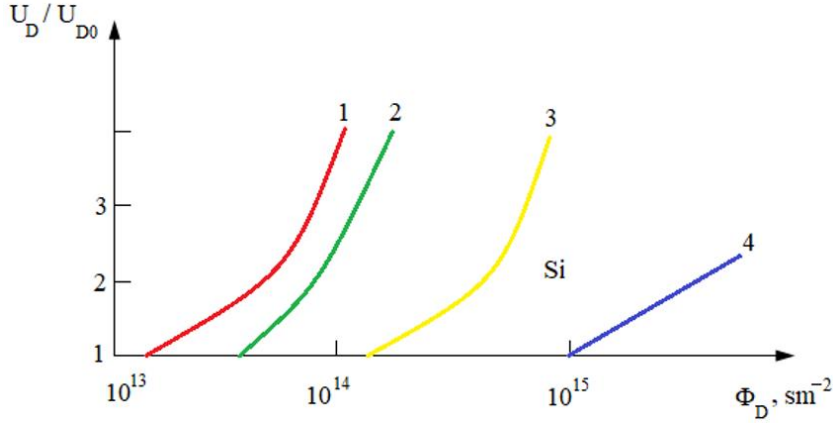
ρ_B və W -dir. Müxtəlif şüalanma növləri zamanı I_d -nin qiymətlərinin geniş diapazonunda diodun bazasında dəyişmənin N , ρ_B və W parametrlərinin funksiyası olan τ_p yaşama müddətinin dəyişməsi (1) düsturu ilə qiymətləndirilə bilər [6].

Neytronlarla şüalanma zamanı silisium diodların düz cərəyanlarının qiymətlərinin geniş diapazonunda VAX və U_d düz gərginliyin dəyişməsi uyğun olaraq şəkil 4 və 5-də verilmişdir.

Şəkil 4-də 1 əyrisi $\Phi_N = 0$ olduğu zaman yəni, şüalanma olmadıqda, 2 əyrisi isə $\Phi_N = 4 \cdot 10^{14}$ neytron/sm² olduqda alınmışdır. Şəkil 5-də $\Phi_N = 0$ olduğu zaman

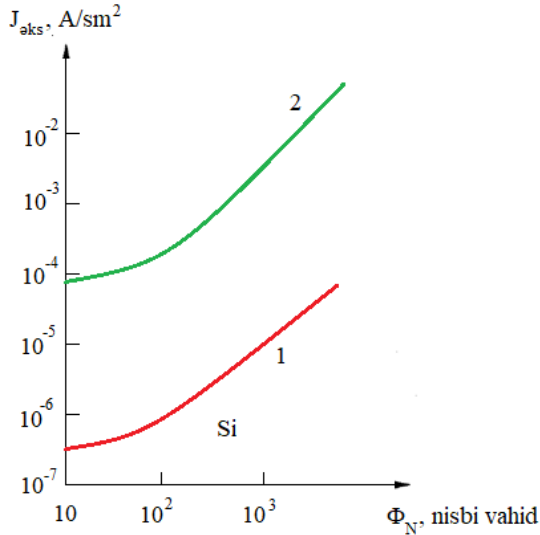
U_{d0} – düz gərginlikdir, 1 və 2, 3 və 4 əyriləri arasında qalan oblastlar isə müxtəlif aşqarlar üçün (məsələn, B, Al) U_d/U_{d0} qiymətindən kənar çıxmaları göstərir. Aşqar qismində Bor istifadə olunan diodlar alüminium istifadə olunan diodlardan daha böyük radiasiya dayanıqlığına malikdirlər.

Yüksək temperaturlarda diodların şüalanması radiasiya defektlərinin qismən termik emal olunması nəticəsində onların xassələrinin kifayət qədər az dəyişməsinə səbəb olur. Müxtəlif tip diodlara şüalanmanın təsiri şəkil 6-da verilmişdir.



Şəkil 6. Şüalanmanın müxtəlif tip diodlara təsiri.

Burada 1 və 2 əyriləri müxtəlif marka düzləndirici 3 və 4 əyriləri isə impuls diodlarının şüalanması zamanı alınmışdır. Diodda $\Phi_N = 0$ olduğu zaman U_{d0} düz gərginlikdir.



Şəkil 7. j_{aks} əks cərəyan sıxlığının neytron selindən asılılığı.

Radiasiyanın silisium diodlarının VAX-ının əks budaqlarına təsiri əsasən $p-n$ keçiddə baş verən proseslərlə təyin olunur. Şüalanma $p-n$ keçidin yaxınlığında kompensə olunmamış aşqarların effektiv paylanması dəyişir yəni, keçidin qalınlığına təsir edir. Bu onunla əlaqədardır ki, şüalanma zamanı baza oblastında yük daşıyıcıların effektiv konsentrasiyası dəyişir. Emitterdə

əsas yük daşıyıcıların konsentrasiyasının dəyişməsinə isə nəzərə almamaq olar. Belə ki, $p^+ - n$ keçidi üçün $N_a \gg N_D$ olduğundan, şüalanma zamanı keçidin qalınlığının artması əsasən baza tərəfdə baş verir. Bundan əlavə, keçiddə aşqarların kifayət qədər böyük konsentrasiya qradientlərinin olması ona gətirir ki, şüalanma zamanı sərbəst yük daşıyıcıların konsentrasiya qradientlərinin və, deməli, keçiddən axan cərəyanların nəzərə çarpacaq dəyişməsi müşahidə oluna bilər.

$\rho_B = 2,5 \text{ Om} \cdot \text{sm}$ xüsusi müqavimətə malik silisium diodlar üçün $U_{aks} = 300 \text{ V}$ olduqda j_{aks} əks cərəyan sıxlığının neytron selindən asılılığı şəkil 7-də verilmişdir. 1 əyrisi $t = 18^\circ\text{C}$; 2 əyrisi isə $t = 100^\circ\text{C}$ temperaturlarda alınmışdır. Şüalanma zamanı keçidin eninin dəyişməsi aydın məsələdir ki, çəpər tutumunun da dəyişməsinə gətirəcəkdir.

NƏTİCƏ

Yuxarıda deyilənləri nəzərə alaraq şüalanma zamanı yarımkeçiricilərin səthində gedən prosesləri aşağıdakı kimi klassifikasiya edə bilərik:

- səthi rekombinasiyanın sürətini artıran yeni sürətli səthi halların yaranması;
- səthi halların yükünü və səthi potensialın qiymətini dəyişən, tələlər tərəfindən şüalanma nəticəsində generasiya olunan yük daşıyıcıların tutulması və ya səthi halların həyəcanlanması;
- yarımkeçirici əsasında yaradılmış cihazın korpusunda qazın ionlaşması və səthi potensialın dəyişməsinə şərtləndirən yüklənmiş ionların kristalın səthinə çökməsi.

İONLAŞMA ŞÜALANMASININ YARIMKEÇİRİCİLƏRİN PARAMETRLƏRİNƏ TƏSİRİ

- [1] *Л.Н. Курбатов.* Оптоэлектроника видимого и инфракрасного диапазона спектра. М.: МФТИ, 1999.
- [2] *А.Н. Пихтин.* Оптическая и квантовая электроника. М.: Высшая школа, 2001.
- [3] *Н.Д. Федоров, Д.Н. Федоров.* Толковый словарь по электронике. - М.: Радио и связь, 2001.
- [4] *И.П. Степаненко.* Основы микроэлектроники. М.; СПб.: Лаб. баз. знаний «Невский Диалект», физматлит, 2001.
- [5] *В.А. Прянишников.* Электроника: Курс лекций. СПб.: Корона принт, 2000.
- [6] *В.П. Драгунов, И.Т. Неизвестный, В.А. Гридчин.* Основы нанoeлектроники. М. 2006.

H.S. Aliyev, E.A. Kerimov

THE EFFECT OF IONIZING RADIATION ON THE PARAMETERS OF SEMICONDUCTORS

Defects appearing in the volume of semiconductors lead to a change in the concentration of free charge carriers n , their mobility μ , lifetime τ and diffusion length L . The lifetime of minority charge carriers in the volume of semiconductors is often determined not by direct zone-zone recombination, but by the energy levels of traps, located in the forbidden band. The appearance of radiation defects leads to the formation of deep energy levels in the forbidden band of the semiconductor, which increases the rate of bulk recombination and, correspondingly, decreases the lifetime of pairs of nonequilibrium charge carriers.

X.C. Алиев, Э.А. Керимов

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Возникающие дефекты в объеме полупроводников приводят к изменению концентрации свободных носителей заряда n , их подвижности μ , времени жизни τ и диффузионной длины L . Время жизни неосновных носителей заряда в объеме полупроводников чаще всего определяется не прямой рекомбинацией зона-зона, а через энергетические уровни ловушек, расположенные в запрещенной зоне. Возникновение радиационных дефектов приводит к формированию глубоких энергетических уровней в запрещенной зоне полупроводника, что увеличивает скорость объемной рекомбинации и, соответственно, уменьшает время жизни пар неравновесных носителей заряда.

Qəbul olunma tarixi: 22.09.2020