

SİLİSIUM ƏSASINDA GÜNƏŞ ELEMENTLƏRİNDƏ İŞIQLANMA OLMADIQDA DİFFUZIYA CƏRƏYANININ HESABLANMASI

E.Ə. KƏRİMOV

Azərbaycan Texniki Universiteti,
Bakı, AZ 1073, H. Cavid pros. 35

E-mail: E_Kerimov.fizik@mail.ru

Hazırda silisium əsasında günəş elementlərinin nazik təbəqəli texnologiya oblastında əldə olunan informasiyanın sistemləşdirilməsi həyata keçirilmiş, günəş elementlərində işıqlanma olmadıqda diffuziya cərəyanlarının hesablanması üsulu analiz edilmişdir. Yarımkəçirici enerji çeviricilərinin fizika və texnologiyasının müəyyən məsələləri, günəş elementlərinin işləmə prinsipi nəzərdən keçirilmişdir.

Açar sözlər: silisium, günəş elementi, optik sistem, konsentrasiya, günəş şüalanması, şüalanma konsentrasiyası.

UOT: 666.9-129

PACS: 73.40.Ns, 73.40.Sx, 72.10.-d

Günəş elementlərini optik sistemlərin köməyi ilə kiçik səthə günəş şüalanmasının konsentrasiya olunduğu və olunmadığı iki elementə ayırmaq mümkündür. Optik konsentratorlu yüksək effektiv kiçik səthə malik günəş elementlərinin (GE) müxtəlif linzalar və böyük səthli qaytarıcılar şəklində tətbiq olunması bu elementlərin inkişafında qiymətlərin aşağı düşməsi üçün alternativ yoldur. Konsentratorlu sistemlərdə yüksək qiymətə malik GE nisbətən ucuz başa gələn optik sistemlərlə əvəz olunur. Günəşin hərəkətinin izlənilməsi və soyudulma sistemlərinə əlavə xərclər faydalı iş əmsalının (F.İ.Ə) artması ilə kompensasiya olunmalıdır. Günəş enerjisinin elektrik enerjisinə çevrilməsi prinsiplərinə görə, Günəş Elementləri üç yerə bölünür: diod tipli, üzvi rəngləyicilərin köməyi ilə sensibizasiyanın həyata keçirilməsi prinsipi istifadə olunan elementlər (fotoelektrik özləklər) və fotovoltaiq çeviricilər.

Deşiklərin p - oblastdan n - oblasta və elektronların n - oblastdan p - oblasta injeksiyası ilə şərtlənən diffuziya cərəyanı məlum olan ideal diodun volt-ampere xarakteristikasını təyin edən Şokli düsturunun köməyi ilə göstərmək oluna bilər. Volt-ampere xarakteristikasının hesablanması zamanı aşağıdakılar qəbul edilir [1]:

- 1) kontakt potensialları fərqi və tətbiq olunan gərginlik ikiqat yüklənmiş kəskin sərhədlərə (bu sərhədlərdən kənarında yarımkəçirici neytral hesab olunur) malik təbəqə ilə tarazlaşdırılır;
- 2) kəsadlaşmış oblastda Bolsman paylanması doğrudur;
- 3) injeksiya olunmuş qeyri-əsas yük daşıyıcıların sıxlığı əsas yük daşıyıcıların konsentrasiyasına nisbətən kiçikdir;
- 4) kəsadlaşmış təbəqədə generasiya cərəyanları mövcud deyildir.

Tarazlıq vəziyyətində Bolsman düsturuna görə

$$n = n_i \exp\left(\frac{E_F - E_i}{kT}\right) \equiv n_i \exp\left[\frac{e(\Psi - \varphi)}{kT}\right] \quad (1)$$

$$p = n_i \exp\left(\frac{E_i - E_F}{kT}\right) \equiv n_i \exp\left[\frac{e(\varphi - \Psi)}{kT}\right] \quad (2)$$

burada, Ψ və φ - qadağan zonasının ortasına və Fermi səviyyəsinə uyğun gələn potensiallardır ($\Psi \equiv -E_i/e$; $\varphi \equiv -EF/e$).

İstilik tarazlığı halında (1) və (2) ifadələri düzgün olduğundan pn hasilini n_i^2 -na bərabər olacaqdır. Keçidə gərginlik verildikdə onun hər iki tərəfində qeyri-əsas yük daşıyıcıların konsentrasiyasının dəyişikliyi baş verir və pn hasilini artıq n_i^2 -na bərabər olmur. Xarici gərginlik mənbəyinin olduğu zaman aşağıdakı ifadələri yazmaq bilirik:

$$n \equiv n_i \exp\left[\frac{e(\Psi - \varphi_n)}{kT}\right]; \quad (3)$$

$$p \equiv n_i \exp\left[\frac{e(\varphi_p - \Psi)}{kT}\right], \quad (4)$$

burada, φ_n və φ_p - uyğun olaraq elektron və deşiklər üçün Fermi kvazisəviyyələridir (şəkil 1).

(1) – (4) ifadələrindən aşağıdakı nəticəyə gəlirik:

$$\varphi_n = \Psi - \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{n}{n_i}\right);$$

$$\varphi_p = \Psi + \frac{kT}{e} \ln\left(\frac{p}{n_i}\right).$$

Belə olan halda:

$$pn = n_i^2 \exp\left[\frac{e(\varphi_p - \varphi_n)}{kT}\right]. \quad (5)$$

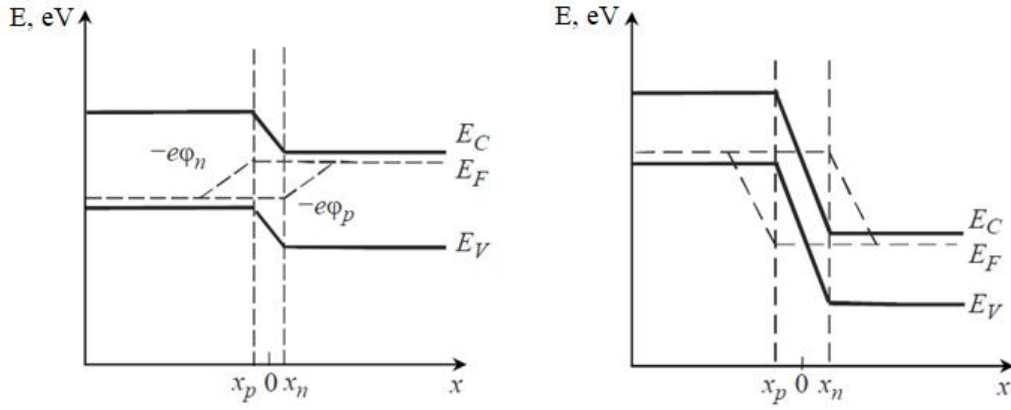
Düz sürüşmə zamanı ($\varphi_p - \varphi_n > 0$ və $pn > n_i^2$, əks sürüşmə zamanı isə ($\varphi_p - \varphi_n < 0$ və $pn < n_i^2$).

Yarımkəçiricidə elektron və deşik cərəyanlarının sıxlıqları üçün tənliklər ümumi halda sahə və diffuziya toplananlarına (konsentrasiya qradienti ilə şərtlənən) malik olacaqdır:

$$j_n = e\mu_n nE + eD_n \nabla_n; \quad (6)$$

$$j_p = e\mu_p pE + eD_p \nabla_p,$$

burada, μ_n , μ_p - uyğun olaraq elektron və deşiklərin yürüklüyü; E - elektrik sahəsi; D_n və D_p - uyğun olaraq elektron və deşiklərin diffuziya əmsallarıdır.



Şəkil 1. $p-n$ keçidin zona diaqramı: solda – düz sürüşmə; sağda - əks sürüşmə.

$E \equiv -\nabla\psi$ olduğunu nəzərə alaraq (6) və (3) ifadələrində:

$$j_n = e\mu_n \left(nE + \frac{kT}{q} \nabla n \right) = e\mu_n (-\nabla\psi) + e\mu_n \frac{kT}{e} \left[\frac{en}{kT} (\nabla\psi - \nabla\varphi_n) \right] = -e\mu_n n \nabla\varphi_n.$$

Deşik cərəyanı üçün isə:

$$j_p = -e\mu_p p \nabla\varphi_p.$$

Beləliklə, elektron və deşik cərəyanlarının sıxlıqları uyğun olaraq, elektron və deşiklərin Fermi kvazisəviyyələrinin qradientlərinə mütənasibdir. İstilik tarazlığı halında $\varphi_n = \varphi_p = \text{const}$ və $j_n = j_p = 0$.

(5) ifadəsindən keçidin p - oblastında kəsadlaşmış təbəqənin sərhədində elektronların konsentrasiyası üçün ifadə ala bilərik ($x = -x_p$ (şəkil 1)):

$$n_p = \frac{n_i^2}{p_p} \exp\left(\frac{e(\varphi_p - \varphi_n)}{kT}\right) = n_{p0} \exp\left(\frac{e(\varphi_p - \varphi_n)}{kT}\right), \quad (7)$$

burada, n_{p0} – elektronların p - oblastında tarazlıq konsentrasiyasıdır.

Kəsadlaşmış təbəqənin sərhədində keçidin n - oblastında $x=x_n$ şərtində deşiklərin konsentrasiyası üçün analogi ifadə alırıq:

$$p_n = p_{n0} \exp\left(\frac{e(\varphi_p - \varphi_n)}{kT}\right), \quad (8)$$

burada, p_{n0} – deşiklərin n - oblastda tarazlıq konsentrasiyasıdır.

(7) və (8) ifadələri volt-ampere xarakteristikasının hesablanması üçün sərhəd şərtləridir.

Stasionar halda kəsilməzlik tənliyi aşağıdakı kimi yazılır:

$$-R + \mu_n E \frac{\partial n_n}{\partial x} + \mu_n n_n \frac{\partial E}{\partial x} + D_n \frac{\partial^2 n_n}{\partial x^2} = 0; \quad (9)$$

$$-R + \mu_p E \frac{\partial p_n}{\partial x} + \mu_p p_n \frac{\partial E}{\partial x} + D_p \frac{\partial^2 p_n}{\partial x^2} = 0. \quad (10)$$

burada, R – rekombinasiyanın yekun sürətidir.

Birinci yaxınlaşmada yük neytrallığı yerinə yetirildiyindən $n_n - n_{n0} \approx p_n - p_{n0}$. (9) ifadəsini $\mu_p p_n$ -yə və (10) bərabərliyini $\mu_n p_n$ -yə vurub $D = (kT/q)\mu$ - Eynşteyn münasibətini nəzərə alsaq:

$$-\frac{p_n - p_{n0}}{\tau_\alpha} + D_\alpha \frac{\partial^2 p_n}{\partial x^2} - \frac{n_n - p_n}{\mu_p} \frac{E \partial p_n}{\mu_n \partial x} = 0, \quad (11)$$

burada,

$\tau_\alpha = (p_n - p_{n0})/R = (n_n - n_{n0})/R$ – yaşamanın ambipolyar müddəti;

$D_\alpha = (n_n + p_n)/(n_n/D_p) + p_n D_n$ – ambipolyar diffuziyanın əmsalıdır.

İnjesiyanın kiçik (yəni, n - tip yarımkəçiricidə $p_n \ll n_n \approx n_{n0}$ olduqda) səviyyəsində (11) ifadəsi bir qədər sadələşir:

$$-\frac{p_n - p_{n0}}{\tau_\alpha} + D_p \frac{\partial^2 p_n}{\partial x^2} - \mu_p E \frac{\partial p_n}{\partial x} = 0. \quad (12)$$

Elektrik sahəsinin olmadığı neytral oblastda (12) ifadəsi kifayət qədər sadələşir:

$$\frac{\partial^2 p_n}{\partial x^2} - \frac{p_n - p_{n0}}{D_p \tau_p} = 0. \quad (13)$$

(8) ifadəsi tərəfindən verilən sərhəd şərtləri daxilində $p_n(x = \infty) = p_{n0}$ olduqda (13) bərabərliyinin həlli aşağıdakı şəkllə malik olacaqdır:

$$p_n - p_{n0} = p_{n0} \left[\exp \left(\frac{e(\varphi_p - \varphi_n)}{kT} - 1 \right) \right] \exp \left[-\frac{x - x_n}{L_p} \right],$$

burada $L_p \equiv (D_p \tau_p)^{1/2}$.

Nəticədə, $x = x_n$ olduqdadeşik cərəyanının sıxlığı aşağıdakı ifadədən təyin olunacaqdır:

$$j_p = -eD_p \left. \frac{\partial p_n}{\partial x} \right|_{x_n} = \frac{eD_p p_{n0}}{L_p} \left[\exp \left(\frac{e(\varphi_p - \varphi_n)}{kT} \right) - 1 \right]. \quad (14)$$

Analoji olaraq p – oblastını nəzərdən keçirsək elektron cərəyanının sıxlığı üçün ifadə alarıq:

$$j_n = -eD_n \left. \frac{\partial n_p}{\partial x} \right|_{-x_p} = \frac{eD_n n_{p0}}{L_n} \left[\exp \left(\frac{e(\varphi_p - \varphi_n)}{kT} \right) - 1 \right]. \quad (15)$$

Keçiddən axan ümumi cərəyan j_p və j_n – cərəyanlarının cəminə bərabər olacaqdır. Nəzərə alsaq ki, p - n keçiddə elektrostatik potensialların fərqi $U = \varphi_p - \varphi_n$ kəmiyyəti ilə təyin olunur, ümumi diffuziya cərəyanı üçün belə ifadə almaq olar:

$$j_d = j_p + j_n = j_{01} \left[\exp \left(\frac{eU}{kT} \right) - 1 \right], \quad (16)$$

burada doyma cərəyanı:

$$j_{01} = \frac{eD_p p_{n0}}{L_p} + \frac{eD_n n_{p0}}{L_n}. \quad (17)$$

(17) ifadəsindən isə belə bir tənlik alırıq:

$$I_{01} \propto T^3 \exp \left(-\frac{E_g}{kT} \right)$$

NƏTİCƏ

Hazırda fotovoltaiqa yəni, günəş enerjisinin birbaşa elektrik enerjisinə çevrilməsi zamanı əldə olunan elektrik enerjisinin qiyməti 20-65 avrosent/kVt-saat təşkil edir. Ənənəvi enerji mənbələri tərəfindən alınan elektrik enerjisinin qiyməti isə 2-3,5 avrosent/kVt-saat olduğundan fotovoltaikanın ənənəvi enerji mənbələri ilə rəqabətə girə bilməsi üçün onun istehsal etdiyi elektrik enerjisinin qiyməti təxminən 5-10 dəfə aşağı düşməlidir.

Bu səbəbdən, fotoelektrik çeviricilərin effektiv, ucuz texnologiyaları və konstruksiyaları işlənilməlidir. Fotovoltaiqa tərəfindən hasil olunan elektrik enerjisinin qiymətinin azaldılmasının ən perspektiv istiqaməti amorf silisium əsasında nazik təbəqəli günəş elementlərinin yaradılması texnologiyasıdır. Belə ki, kristallik silisium əsasında günəş elementlərinin əsas çatışmazlığı onların yüksək qiymətinin olmasıdır, çünki ümumi dəyərin 50%-ni yalnız Si-altılığın qiyməti təşkil edir.

- [1] В.П.Драгунов, И.Т.Неизвестный, В.А.Гридчин. Основы наноэлектроники. м" 2006.
- [2] Н.Д. Федоров, Д.Н. Федоров. Толковый словарь по электронике. М.: Радио и связь, 2001.
- [3] И.П. Степаненко. Основы микроэлектроники. М.; СПб.: Лаб. баз. знаний «Невский Диалект», физматлит, 2001.

- [4] В.А. Прянишников. Электроника: Курс лекций. СПб.: Корона принт, 2000.
- [5] Г.Г. Шишкин. Приборы квантовой электроники. М.: Сайнс Пресс, 2004.

Е.А. Керимов

CALCULATION OF DIFFUSION CURRENTS IN SILICON-BASED SOLAR CELLS IN THE ABSENCE OF ILLUMINATION

The systematization of the currently available information in the field of thin-film technology of silicon-based solar cells is carried out, and the method for calculating the diffusion currents in solar cells without lighting is analyzed. Some questions of physics and technology of semiconductor energy converters, the principle of operation of solar cells are considered.

Э.А. Керимов

РАСЧЕТ ДИФФУЗИОННЫХ ТОКОВ В СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЯ ПРИ ОТСУТСТВИИ ОСВЕЩЕНИЯ

Проведена систематизация имеющейся на сегодняшний день информации в области тонкопленочной технологии солнечных элементов на основе кремния, проанализирован способ расчета диффузионных токов в солнечных элементах в отсутствие освещения. Рассмотрены некоторые вопросы физики и технологии полупроводниковых преобразователей энергии, принцип работы солнечных элементов.

Qəbul olunma tarixi: 19.01.2022