



**MATEMATIK MODELLASHTIRISH YORDAMIDA  
YARIMO‘TKAZGICHLI YADROVIY NURLANISHLARNI QAYD  
QILUVCHI DETEKTORLAR UCHUN P-TURDAGI KREMNIYNIGA  
LITIY IONLARINI OPTIMAL KOMPENSATSIYANI AMALGA  
OSHIRISH**

**G'.J.Ergashev<sup>1</sup>,**

**A.B.Baxtiyorovich<sup>2</sup>,**

**D.O'.O'ngboyeva<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>O'zbekiston xalqaro islomshunoslik akademiyasi

<sup>2</sup>Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston milliy universiteti

<sup>3</sup>Toshkent kimyo-texnologiya instituti

E-mail:giyosjonergashev23@gmail.com

**Annotatsiya:** Maqolada Si(Li) p-i-n tipidagi yadroviy nurlanish detektorlarini tayyorlashda qo'llaniladigan texnologiyalar, xususan p-turdagi kremniyni litiy ionlari bilan kompensatsiyalash usuli keng yoritilgan. Tadqiqotda litiy ionlarining monokristall kremniyga diffuziyasi va dreyfi jarayonlari, hamda Li – O komplekslarining hosil bo'lishi va ularning kremniy kristall strukturasi ta'siri tahlil qilingan. Li – O komplekslarining mavjudligi bir tomondan kristall ichidagi nuqsonlarni keltirib chiqarsa, boshqa tomondan detektor strukturasi barqarorligini ta'minlaydi.

**Kalit so'zlar:** Si(Li) detektor, p-i-n struktura, litiy diffuziyasi, Li – O kompleksi, kremniy monokristall, Choxralskiy usuli, diffuziya tenglamasi, Bolsman-Matano almashtirish, muvozanat koeffitsiyenti, yadroviy nurlanish detektori.

**Abstract:** This article explores the technologies employed in the fabrication of Si(Li) p-i-n type nuclear radiation detectors, with a particular focus on the method of compensating p-type silicon using lithium ions. The study analyzes the diffusion



and drift processes of lithium ions into monocrystalline silicon, as well as the formation of Li-O complexes and their impact on the crystal structure of silicon. The presence of Li-O complexes, on one hand, introduces defects within the crystal, but on the other hand, contributes to the structural stability of the detector. Mathematical models describing the diffusion behavior of lithium ions are presented, including solutions based on the Boltzmann-Matano transformation method for position-dependent diffusion coefficients.

**Keywords:** Si(Li) detector, *p-i-n* structure, lithium diffusion, Li-O complex, silicon monocrystal, Czochralski method, diffusion equation, Boltzmann-Matano transformation, equilibrium coefficient, nuclear radiation detector.

**Kirish.** Si(Li) *p-i-n* detektorlarni har xil turlari va uni tayyorlash texnologiyalari mavjuddir. Yarimo‘tkazgichli yadroviy nurlanishlarni qayd qiluvchi detektorlar uchun *p*-turdagi kremniynini litiy ionlari bilan kompensatsiya qilish usuli eng samarali usullardan biri ekanligi barchamizga ma’lum. Ushbu usul quyida keltirilgan bosqichlarga asoslanadi: mos namunadagi monokristall kremniy namunasini olish va uni tayyorlash, monokristall Si ga Li atomlarini kerakli chuqurlikka diffuziya qilish, Li ionlarini Si ga dreyf jarayonini amalga oshirish va olingan namunalarga mos ravishda kontakt o‘tkazish. Yuqorida keltirib o‘tilganlardan eng asosiy jarayonlaridan biri *p-i-n* sohani yaratish hisoblanadi.

**Olingan natijalar, taklif va tavsiyalar.** Shunga asosan Choxralskiy usuli yordamida o‘stirilgan kremniy monokristallari strukturasida bir qancha nuqsonlar vujudga kelishi mumkin. Ushbu nuqsonlarni borligi kristall ichki hajmida ko‘p miqdorda Li – O komplekslari mavjudligi bilan ifodalanadi. Ushbu komplekslar kristall ichida termodonorlarni generatsiyasi yuzaga kelishiga sabab bo‘ladi. Shuningdek bu komplekslar akseptor kirishmalari joylashgan nuqtalarda dipol strukturalarni vujudga keltiradi, bu holat o‘z o‘rnida litiy ionlari diffuziya va dreyf jarayonlari tabiatiga o‘z ta’sirini o‘tkazadi. Biroq, o‘z o‘rnida Li – O



komplekslarini mavjudligi  $Si(Li)$   $p-i-n$ - detektorlar strukturalarini barqarorligi uchun xam xizmat qiladi. Tarkibida ko'p miqdorda  $Li - O$  komplekslari mavjud monokristal kremniyga  $Li$  atomlarini diffuziya qilish muammosini bartaraf etish maqsadida, litiy ionlarini oqimi uchun quyida keltirilgan tenglamadan foydalaniladi:

$$J = -D_0 \frac{d(N_{Li}-p)}{dx} \quad (1)$$

bu erda:  $D_0$ – tarkibida kislorod komplekslari mavjud bo'lmagan toza kremniy ichida litiy diffuziya koeffitsiyenti,  $N_{Li}$ -litiy konsentratsiyasi (miqdori).

Bog'langan va erkin litiy komplekslarini termodinamik muvozanat holatida, effektiv massalar qonuniyatidan kelib chiqib, quyidagini tenglamani olamiz:

$$\frac{p}{(N_{O_2}-p) \cdot (N_{Li}-p)} = k(T) \quad (2)$$

bu erda:  $k(T)$ – faqat haroratga bog'liq bo'lgan holdagi muvozanat koeffitsiyenti,  $N_{O_2}$ – kislorod konsentratsiyasi. Litiyning diffuziya koeffitsiyentini quyidagicha ifodalashimiz mumkin:

$$D(x) = \frac{D_0}{2} \left[ \frac{N_{Li}(x) - N_{O_2} + \frac{1}{k}}{\sqrt{\left(N_{Li}(x) - N_{O_2} - \frac{1}{k}\right)^2 + \frac{4N_{Li}(x)}{k}}} + 1 \right] \quad (3)$$

Yuqiridagilarga asosan  $Li - O$  komplekslarini shakllanish vaqtida litiyni diffuziya koeffitsiyenti belgilangan shartlarga asosan  $N_{O_2}$  va  $N_{Li}$  konsentratsiyalari va muvozanat koeffitsiyenti  $k(T)$  larga bog'liq bo'lishi kuzatiladi.

$D(x)$  ni koordinataga bog'liqligini etiborga oladigan bo'lsak, diffuziya tenglamasi quyidagi shaklda ifodalanadi:

$$\frac{d}{dt} N(x, t) = \frac{d}{dt} \left( D(x) \frac{dN(x, t)}{dx} \right) \quad (4)$$

(4) tenglamani (3) chi yaqinlashish shartini inobatga olgan holda to'g'ridan-to'g'ri hisoblash o'ta murakkab bo'ladi. Ammo, (4) tenglama uchun bir qancha chegaraviy shartlar mavjudki, ularni etiborga olgan holda, tarkibida koordinataga



mos ravishda bog‘liq bo‘lgan diffuziya koeffitsiyenti mavjud diffuziya tenglamasining analitik yechim Bolsman-Matano o‘zgaruvchanlarni almashtirish tenglamasi  $\eta = \frac{x}{\sqrt{t}}$  ga keladi. Ushbu shart asosida olingan yechim, “O‘ziga o‘xshashlik” yechimi deb ataladi. Yuqorida qayd etilgan chegaraviy shartlar sinfi doimiy manb’adan (quyidagi chegaraviy shartlar  $N(x, 0) = 0, N(0, t) = N(L, t) = N_S$  qo‘llagan holda)  $Si$  namunasiga litiy atomlarini ikki tarafdin diffuziyasiga aloqadordir. Bu holatda tenglamani yakuniy shakli quyidagicha bo‘ladi:

$$\frac{N(\eta)}{N_S} = 1 - \frac{\int_0^{\eta_1} \frac{1}{D} \exp\left(-\frac{1}{2} \int_0^{\eta_1} \frac{1}{D} \eta' d\eta'\right) d\eta}{\int_0^{\infty} \frac{1}{D} \exp\left(-\frac{1}{2} \int_0^{\eta_1} \frac{1}{D} \eta' d\eta'\right) d\eta} \quad (5)$$

Agar diffuziya vaqti doimiy bo‘lsa ( $t = const$ ), unda birlamchi o‘zgaruvchanlar “ $x$ ” va “ $t$ ” va (5) tenglama quyidagi tenglamaga keladi:

$$\frac{N(x, t)}{N_S} = 1 + \frac{\int_0^{x_1} \frac{1}{D} \exp\left(\frac{1}{2t} \int_0^{x_1} \frac{1}{D} x' dx'\right) dx}{\int_0^{\infty} \frac{1}{D} \exp\left(-\frac{1}{2t} \int_0^{x_1} \frac{1}{D} x' dx'\right) dx} \quad (6)$$

Buni osongina tekshirish mumkin, chunki agar (6) da  $D = const$  teng bo‘lsa, biz quyidagini olamiz:

$$\frac{N(x, t)}{N_S} = 1 - \frac{\int_0^x \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) dx}{\int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) dx} = 1 - \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) = \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) \quad (7)$$

Ta’kidlash joizki, (7) tenglamada, diffuziya koeffitsiyenti koordinataga bog‘liq, chunki u miqdor (konsentratsiya) funksiyasidir:

$$D = D(N(x, t)) = \Psi(x) \quad (8)$$

Biroq,  $D(x)$  ni koordinataga haqiqiy bog‘liqligi muhitni izotropiyasi tufayli mavjud emas. Integratsiya funksiyasi (6) tenglamasining o‘ng tomonidagi hisoblanayotgan o‘zgaruvchilarga bog‘liqligini inobatga oladigan bo‘lsak, diffuziya profili (6) ni hisoblash kompyuterda interaktiv usul yordamida amalga



oshirilishi mumkin. Buni standart usuli  $D(N)$  darajali qatorga yoyish bilan ifodalaniladi:

$$D[N(x, t)] = D_0 + \lambda_0 \cdot N(x, t) + \lambda_1 \cdot N_1(x, t) + \dots \quad (9)$$

$N(x, t)$  navbatma-navbat yechish birinchi ( $D_0 = \text{const}$ ), ikkinchi va hokazo yaqinlashishlarda.

$N_{Li} \ll N_{O_2}$  bo'lgan maxsus holatni ko'rib chiqish alohida qiziqish uyg'otadi, chunki bu shartlar odatda Choxralskiy usuli bilan o'stirilgan kremniy uchun yaxshi bajariladi ( $N_{O_2} \approx 10^{17} - 10^{18} \text{ sm}^{-3}$ ). Bunday holda, (4) tenglamada  $N_{Li}$  ni  $N_{O_2}$  bilan taqqoslaganda, uni e'tiborga olmasa xam bo'ladi. Shunga asosan tenglama quyidagicha bo'ladi:

$$D = \frac{D_0}{1 + k(T)N_{O_2}} \quad (10)$$

$Li - O$  komplekslarining intensiv vujudga kelishi davrida  $k(T) \cdot N_{O_2}$  qiymati sezilarli darajada yuqori bo'lishi kuzatilishi mumkin, bu effektiv diffuziya koeffitsiyentining pasayishiga olib kelishi aniqlangan.

**Xulosa:** Boshqa tomondan, (10) tenglamada keltirilgandek, litiy diffuziya koeffitsiyentining koordinataga bog'liq emasligini inobatga olib, ushbu xol uchun diffuziya tenglamasini (7) qo'llash mumkin bo'ladi.

### Foydalanilgan adabiyotlar

1. Muminov R.A., Saymbetov A.K., Toshmurodov Yo.K., Ergashev G.J., Yavkochdiyev M.Ya. Analysis of the electrophysical dimensions of semiconductor detector with the help of a computer-mathematical model // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. 2020. Vol. 7, Issue pp.14956-14959.
2. Muminov R.A., Ergashev G.J., Saymbetov A.K., Toshmurodov Yo.K., Radzhapov S.A., Mansurova A.A., Japashov N.M., Svanbayev



- Y.A.Application of Additional Leveling Drift Process to Improve the Electrophysical Parameters of Large Sized Si (Li) p-i-n Structures // Journal of Nano- and Electronic Physics. 2020.Vol.12 No 1, pp01006-1-01006-5.
- 3.Muminov R.A., Saymbetov A.K., Toshmurodov Yo. K., Ergashev G.J., Yavkochdiyev M.O. The use of an electric field in the process of diffusion in the manufacture of semiconductor detectors // Proceedings of Online International Conference on «Advances in Social Sciences, Humanities, Education Technologies and Communication». India. 19th September 2020. pp. 11-14.
4. Muminov R.A., Saymbetov A.K., Toshmurodov Yo.K., Ergashev G.J., M.O. Yavkochdiyev. Features mechanical and chemical treatment of semiconductor silicon plates // Proceedings of Online International Conference on «Advances in Social Sciences, Humanities, Education Technologies and Communication». India. 19th September 2020. pp. 39-44.