



Yarimo‘tkazgichli detektorlarda texnologik jarayonlarni matematik modelashtirish

G‘.J. Ergashev¹, Yo.K. Toshmurodov², F.K. Islomova³

O‘zbekiston Milliy universiteti huzuridagi Yarimo‘tkazgichlar fizikasi va mikroelektronika ilmiy-tadqiqot instituti, Toshkent sh.
Qarshi davlat universiteti, Qarshi sh.
Toshkent kimyo-texnologiya instituti, Toshkent sh.
E-mail: giyosjonergashev23@gmail.com

Annotatsiya: Ko‘p o‘lchovli matematik modellar qurilmani ishlab chiqish bosqichida, ularning tuzilmalarini optimallashtirish, yarimo‘tkazgich materialini tanlashda foydalanish mumkin. Zamonaviy mikroelektronikaning yarimo‘tkazgichli qurilmalarni taxlil qilishdagi muvaffaqiyatlarida matematik modellashtirish ayniqsa dolzarb hisoblanadi. Yarimo‘tkazgich texnologiyasi, qurilmalarini ishlab chiqish va optimallashtirishda modellashtirish - amaliy xususiyatga ega bo‘lgan dasturiy ta‘minotdir. Ma‘lumki yarimo‘tkazgichli qurilmalarning loyihalashda avtomatlashtirishda matematik modellashtirish asos bo‘lib xizmat qiladi.

Annotatsiya: Многомерные математические модели могут быть полезны на этапе разработки устройств, оптимизации их конструкций, выбора полупроводникового материала. Математическое моделирование особенно актуально при успехах современной микроэлектроники при анализе полупроводниковых приборов. Моделирование при разработке и оптимизации технологии полупроводниковых приборов представляет собой программное обеспечение с практическими возможностями. Известно, что математическое моделирование является основой автоматизации проектирования полупроводниковых приборов.

Annotation: A multidimensional mathematical model can be useful at the stage of development of devices, optimization of construction, selection of semiconductor material. Mathematical modeling is especially relevant in the success of contemporary microelectronics, in the analysis of semiconductor devices. Izvestno, chto matematicheskoe modelirovanie yavlyaetsya osnovoy avtomatizatsii proektirovaniya poluprovodnikovyx priboro.

Kalit so‘zlar: diffuziya, elektrofizik, radiometriya.

Ключевые слова: диффузия, электрофизика, радиометрия.

Keywords: diffusion, electrophysics, radiometry.

So‘ngi yillarda elektron texnologiyalarning turli sohalarida keng qo‘llaniladigan yarimo‘tkazgichli qurilmalarning har xil turlari yaratildi. Ular orasida boshqa turdagi zaryadlangan zarrachalar hisoblagichlari bilan muvaffaqiyatli raqobatlashadigan yarimo‘tkazgichli yadro nurlanish detektorlari alohida o‘rin tutadi. Yarimo‘tkazgich detektorlari atom energetikasida, yuqori toza moddalar ishlab chiqarishda, amaliy va



fundamental ilmiy tadqiqotlar, tibbiyot va qishloq xo'jaligi texnologiyalari, atrof-muhitni muhofaza qilish va xalq xo'jaligining boshqa sohalarida qo'llaniladi.

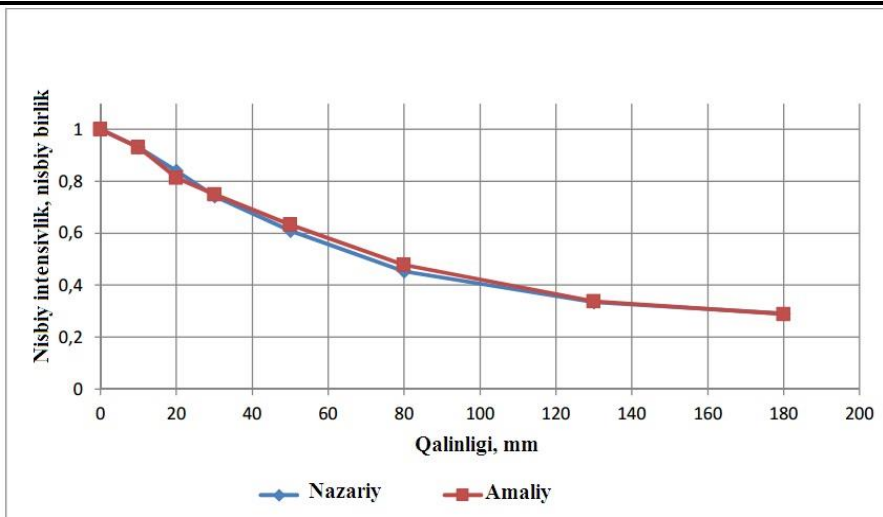
Ayni vaqtda rivojlanib borayotgan texnologiya ilm-fanida a'nanaviy nazariy matematik modellar bilan tadqiqotlarni olib borish maqsadga muvofiq bo'lmoqda. Yarimo'tkazgichli tuzilmalar samarali ishlashida matematik modellarning ko'p tajriba o'tkazmasdan oldindan taxlil qilish, zaruriy xom ashyoni tejash, barcha dizayn parametrlarining ta'sirini o'rganish va strukturalarda sodir bo'ladigan jarayonlar haqida tasavvurga ega bo'lish imkonini beradi, ya'ni olib boriladigan amaliy texnologik jarayonlarni nazariy taqqoslash bilan birgalikda amalga oshirish, tajriba uchun sarf bo'lgan vaqt va ishlab chiqarish xarajatlarini sezilarli darajaga kamaytiradi.

Shunday qilib, matematik modellashtirish mikroelektronika sohasida tobora muhim rol o'ynamoqda. Ayni paytda mikroelektronikada istiqbolli texnologiyalarni ishlab chiqish uchun mo'ljallangan dasturlar mavjud. Ular bir o'lchovli va ikki o'lchovli texnologik jarayonlar, qurilmaning kattaliklarini taqqoslash uchun ishlatilishi mumkin.

Hozirgi vaqtda texnologik jarayonlarni raqamli simulyatsiya qilish va yarimo'tkazgichli qurilmalarning instrumental tavsiflari uchun ko'plab tizimlar ishlab chiqilgan.

Matematik modellashtirishning tenglamalarini sonli yechish usullari ishlab chiqilgan va yarimo'tkazgichli qurilmalarni modellashtirish va tahlil qilishda samarali vosita hisoblanadi. Ko'p o'lchovli raqamli modellar qurilmani ishlab chiqish bosqichida, ularning tuzilmalarini optimallashtirish, yarimo'tkazgich materialini tanlashda foydalanish mumkin. Zamonaviy mikroelektronikaning yarimo'tkazgichli qurilmalarni taxlil qilishdagi muvaffaqiyatlari bunday matematik modellashtirish ayniqsa dolzarb hisoblanadi. Yarimo'tkazgich texnologiyasi, qurilmalarini ishlab chiqish va optimallashtirishda modellashtirish - amaliy xususiyatga ega bo'lgan dasturiy ta'minotdir. Biz ma'lumki yarimo'tkazgichli qurilmalarning loyihalashda avtomatlashtirishda matematik modellashtirish asos bo'lib xizmat qiladi.

Bir qator shu yo'nalishdagi ishlarda keltirib o'tilganidek detektorlarning spektrometrik kattaliklarini o'rganishning amaliy va nazariy usullari ishlab chiqilgan, shuningdek detektorlar tayyorlashda optimal texnologik jarayonlarni tanlash texnologik jarayondagi xatolarni minimallashtirishdan iborat bo'lgan. Detektorlarning spektrometrik va radoimetrik kattaliklarini o'lchash usullarining asosiy mavjud muammolari, neytron energiyasi va ikkilamchi zaryadlangan zarrachalar energiyasi o'rtasida to'g'ridan-to'g'ri detektorlar tomonidan yadroviy nurlanishlarni qayd qilish bog'liqligi yo'qligi tadbir qilingan.



Yarimo‘tkazgichli detektorlarning radiatsiya intensivligini amaliy va nazariy ravishda solishtirish grafigi.

Yarimo‘tkazgichli detektorlarning radiatsiya intensivligini qurilma qalinligi bo‘yicha radiyaktiv elementlarning qayd qilinishining amaliy va nazariy ravishda solishtirish grafigida ko‘rsatilgan. GEANT4 dasturi orqali matematik modellashtirish hisoblab chiqilgan. Radiyaktiv nurlanishli elementlarni qayd qilish detektorlarning diametri 80 mm ni tashkil etgan. Bunda amaliy va nazariy usullar uchun ushbu bog‘liqliklarning boshlang‘ich nuqtalari ma‘lumotlar birlashtirilgan va umumlashtirilgan.

Yadroviy nurlanishlarni qayd qilishda amaliy va nazariy modellari ishlab chiqilgan, yarimo‘tkazgichli CdTe asosidagi detektorlar taxlil qilingan va xatoliklari kamaytirilgan.

Shuningdek, yarimo‘tkazgichli detektorlarning texnologik jarayonlarini matematik modellashtirish uchun elektr maydon bir hil, zaryadlangan zarrachalar yashash vaqti (τ) zaryadlarning harakatchanligi (μ) doimiy deb hisoblash mumkin va samaradorligi $\eta(z)$ tengligi bilan tasvirlash mumkin.

$$\eta(z) = \frac{\lambda_e}{d} \left(1 - e^{-\frac{-(d-z)}{\lambda_e}} \right) + \frac{\lambda_h}{d} \left(1 - e^{-\frac{-z}{\lambda_h}} \right) \quad (1)$$

Bunda z - salbiy kontaktdan oldin bo‘lgan masofa teng bo‘lmagan zaryadning shakllanish nuqtalari; d – detektorning qalinligi; $\lambda_{e,h} = \mu_{e,h} \tau_{e,h} V/d$ - elektron va teshiklar uchun erkin yo‘nalish uzunligi; $\mu_{e,h}$ - elektron (teshiklar) harakatchiligi; $\tau_{e,h}$ - elektron (teshiklar) yashash vaqti; V – detektor kuchlanishi.

$$D = \frac{e}{W_{air}} \mu_{en} n E_{\gamma} t \quad (2)$$

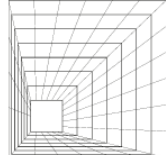
bu erda e – elektron zaryadi; W_{air} – havoda elektron bug‘lanishning o‘rtacha energiyasi (33,97 eV); μ_{en} - energiya berishning ommaviy koeffitsienti havoda (haqiqiy yutilish koeffitsienti); n - oqim zichligi; γ – yadro nurlanish; E_{γ} – energiya.

Detektorning diskret sezgichligi δ nurlanishda γ kvant energiyasi E_{γ} quyidagi formula bilan hisoblanadi:

$$\delta = \frac{N_T}{D} \quad (3)$$

bu erda, N_T – detektor impulslar soni; D - ekspozitsiya dozasi.

Shunda impulslarning o‘rtacha amplitudasining energetik ekvivalenti quyidagiga teng:



$$E_{ph} = \frac{W_{det}}{e} Q_{ph} \quad (4)$$

Bu erda e – elektronlarning zaryadi; W_{det} - yarimo'tkazgichdagi elektron-teshik bug'lanish energiyasi (4,43 eV).

$$E_{ph} = \frac{\sum_k kN(k)}{N_T} E_{adc} \quad (5)$$

k – detektor tasmasi nomeri; $N(k)$ – qayd qilish tasma soni; N_T – qayd qilish tasmaning umumiy soni; E_{adc} – detektor tasmasining kengligi [4; c. 28-33].

Ushbu ishlab chiqilgan E_{ph} modelda quyidagi formula hisoblanadi:

$$E_{ph} = \frac{E_{NT}}{N_T} \quad (6)$$

Bu erda, E_{NT} - energetik ekvivalenti; N_T – impulslar soni.

$$D = N_T \frac{1}{\delta} = N_T (M \times E_{ph} + C) \quad (7)$$

Bu erda, M va C – detektorni kalibrlashda aniqlanadigan konstantalar.

$$D = M[E_{adc} \sum_k kN(k)] + N_T C \quad (8)$$

$$D = N_{T_1} (M \times E_{ph_1} + C) + N_{T_2} (M \times E_{ph_2} + C) = M(N_{T_1} \times E_{ph_1} + N_{T_2} \times E_{ph_2}) + C(N_{T_1} + N_{T_2}) \quad (9)$$

Bunda, N_{T_1} – impulslar soni; E_{γ_1} va E_{γ_2} , $E_{ph_{1,2}}$ – impulsning o'rtacha soni

$$E_{ph} = \frac{W_{det}}{e} Q_{ph} = \frac{W_{det}}{e} \frac{Q_1 + Q_2}{N_{T_1} + N_{T_2}} = \frac{E_{ph_1} \times N_{T_1} + E_{ph_2} \times N_{T_2}}{N_{T_1} + N_{T_2}} \quad (10)$$

(10) ifodadan foydalanib impulsning o'rtacha amplitudasining energetik ekvivalenti hisoblab topish mumkin.

Doimiy manbadan diffuziya tenglamasining yechimi keltirilgan. Boshlang'ich va chegara shartlari quyidagicha yoziladi:

$$\frac{dc}{dt} = D \frac{d^2c}{dx^2} \quad (11)$$

$$N(0, x) = 0, N(0, x) = N_s \quad (12)$$

Bu erda N – konsentrasiya; x – litiyning potensial chuqurligi; t - vaqt; D – diffuziya koeffitsienti; N_s – litiy atomlarining sirt konsentrasiyasi.

$$S = S(t) = \int_0^t D(t) dt, S(0) = 0 \quad (13)$$

bunda

$$N(t, x) = N_s \varphi(S, x) \quad (14)$$

Bu erda φ – konvektiv issiqlik uzatish koeffitsienti va diffuziya tenglamasi shaklni oladi:

$$\frac{d}{dt} - \frac{d^2}{dx^2} \varphi(S, x) = 0 \quad (15)$$

Bu tenglama quyidagicha:

$$\varphi(S, x) = \varphi(S, 0) \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{S}} \right) = \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{S}} \right) \quad (16)$$

$$N(t, x) = N_s \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{S(t)}} \right) \quad (17)$$



t vaqt ichida D belgilangan qonun bo'yicha o'zgaradi. D_0 diffuziya koeffisienti doimiy T_0 haroratda t_0 vaqt ichida diffuziya sodir bo'ladi. Haroratning vaqtga bog'liqlik tenglamasini quyidagicha ko'rishimiz mumkin:

$$T_0 > T = p(t) \quad (18)$$

bunda

$$D(t) = \begin{cases} A \exp\left(-\frac{B}{T_0}\right) = D_0 & \text{для } 0 < t \leq t_0 \\ A \exp p\left(-\frac{B}{p(t)}\right); & t > t_0 \end{cases} \quad (19)$$

Bu erda $B = \frac{E_{ak}}{k}$, E_{ak} - diffuziyani faollashtirish energiyasi; k - Bolsman doimiysi.

$$c(0, t) = c(L, t) = c_s \quad (20)$$

Cheklovni hisobga olgan holda bir qator o'zgarishlardan so'ng (tekis holat uchun) qaror qabul qilindi.

$$J = -D_0 \frac{d(C_{Li}-P)}{dx} \quad (21)$$

Bu erda D_0 - kislorodning murakkabligini hisobga olmaganda diffuziya koeffitsienti.

Yuqoridagilarga asosan litiy konsentratsiyasini aniqlash uchun ifodani quyidagicha ifodalash mumkin:

$$D(x) = \frac{D_0}{2} \left[\frac{C_{O_2} C_{Li} - 2C_{Li} + P^2}{C_{O_2} C_{Li} - P^2} \right] \quad (22)$$

Ushbu diffuziya tenglamasining chegara shartlari quyidagicha:

$$\frac{c(x,t)}{C_{Li}} = \frac{\int_0^{L/2} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) dt + \int_L^{L/2} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) dt}{\int_0^\infty \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right) dt} = \operatorname{erfc} \left\{ \frac{x}{2\sqrt{Dt}} + \frac{L-x}{2\sqrt{Dt}} \right\} \quad (23)$$

Diffuziya chuqurligi tenglamasi quyidagi shaklga ega:

$$D \begin{cases} \frac{D_0}{1+K(T_0)C_{O_2}}, \text{ при } 0 < t < t_0 \\ \frac{D_0(t)}{1+K(T_0)C_{O_2}}, \text{ при } t > t_0 \end{cases} \quad (24)$$

So'ngra diffuziya tenglamasi va tasvir uchun chegara shartlari quyidagi shaklga keladi:

$$\frac{c(x,t)}{c_s} = \operatorname{erfc} \left\{ \frac{x}{\sqrt{\frac{D_0 t_0}{1+K(T_0)N_{O_2}} + A \int_{t_0}^t \frac{\exp\left(-\frac{B}{T(t)}\right)}{1+K(T_0)N_{O_2}} dt}} + \frac{L-x}{\sqrt{\frac{D_0 t_0}{1+K(T_0)N_{O_2}} + A \int_{t_0}^t \frac{\exp\left(-\frac{B}{T(t)}\right)}{1+K(T_0)N_{O_2}} dt}} \right\} \quad (25)$$

Keltirib chiqarilgan tenglama orqali kremniyda litiy ionlarining diffuziyasini nazariy jihatdan aniqlash mumkin bo'ladi va amaliy natijalar bilan taqqoslash imkonini beradi.

Xulosa



Dunyo miqyosida nazariy bilimlarga bog'liq holda amaliy tajribalarni olib borish jadallik bilan rivojlanib bormoqda. Shuningdek, yarimo'tkazgichli qurilmalarning ishlab chiqishda matematik modellashtirishdan foydalangan holda, o'tkazilgan tajriba natijalarini taqqoslash va ularni taxlil qilish, barcha dizayn parametrlarining ta'sirini o'rganish va strukturalarda sodir bo'ladigan jarayonlar haqida tasavvurga ega bo'lish imkonini beradi, ya'ni olib boriladigan amaliy texnologik jarayonlarni nazariy taqqoslash bilan birgalikda amalga oshirish, tajriba uchun sarf bo'lgan vaqt va ishlab chiqarish xarajatlarini sezilarli darajaga kamaytiradi.

Foydalanilgan Adabiyotlar Ro'yxati

1. R.A. Muminov, A.K. Saymbetov, Yo. K. Toshmurodov, G.J. Ergashev, M.Ya. Yavkochdiyev Analysis of the electrophysical dimensions of semiconductor detektor with the help of a computerno-mathematical model // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology – 2020 Vol. 7, Issue 9 , pp. 14956-14959. (IF: 6,12)
2. R.A. Muminov, G.J. Ergashev, A.K. Saymbetov, Yo.K. Toshmurodov, S.A. Radzhapov, A.A. Mansurova, N.M. Japashov, Y.A. Svanbayev 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, pp 01006-1-01006-5. (01.00.00 № 12 IF: 0,213)
3. Тошмуродов Ё.К., Г.Ж. Эргашев, Сайфуллоев Ш.А. Компьютерно-математическое моделирование электрофизических характеристик полупроводниковых координатно-чувствительных детекторов уадерного излучениуа // ISSN 0236-3933. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2018. № 1. Стр. 16-20. (01.00.00 № 12)
4. Тошмуродов Ё.К., Г.Ж. Эргашев Моделирование вольтамперные характеристики полупроводникового координатно-чувствительного детектора ядерного излучениуа на основе Si(Li) p-i-n- структур // *Uzbek journal of Physics* 2017 V 19 № 4. стр. 246-248. (01.00.00, №5)
5. Muminov R.A., Saymbetov A.K., Toshmurodov Yo.K., G.J. Ergashev, Yavkochdiev M.O. Yarim o'tkazgichli detektorlarning statik xarakteristikalarini tahlil qilishning matematik modellari // "Ilm sarchashmalari" 2021 № 3 стр. 3-5 (01.00.00, №12)
6. Муминов Р.А., Саймбетов А.К., Тошмуродов Ё.К., Г.Ж. Эргашев, Явкочдиев М.О. Разработка математической модели формирования спектра в детекторах на основе Si(Li) структур при облучении гамма // *Физика полупроводников и микроэлектроника* – 2020. Т 2. Вип. 1. Стр. 34-38 (01.00.00, №8)
7. Муминов Р.А., Тошмуродов Ё.К., Г.Ж. Эргашев, Явкочдиев М.О. Математическое моделирование диффузионного процесса полупроводникового детектора // «Computational nanotechnology» - 2020. Т 7. № 4. Стр. 68-71. (01.00.00, №7)
8. R. Muminov, G.J. Ergashev, B. Radjapov, E. Rummyantseva Features of silicon p-n structures with a large sensitive surface and a volume charge area // *Semiconductor Physics and Microelectronics* – 2020. V. 2. Iss. 3. Стр. 23-26 (01.00.00, №8)