

LEGIRLANGAN KREMNIYLI FOTOQARSHILIK YARATISH VA UNI TURLI HARORATDA YORUG‘LIKKA SEZGIRLIGINI O‘RGANISH

Kurbanova Qundiz Paraxat qizi
TDTU “REM” kafedrasida dotsenti, PhD

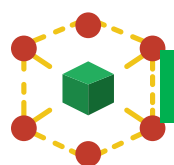
Annotatsiya: Fotoqarshiliklar (fotorezistorlar) optoelektronikada nurlanish oqimi ta’sirida elektr o‘tkazuvchanligi o‘zgaruvchi sezgir element sifatida keng qo‘llaniladi. Ayniqsa, kremniy (Si) asosida tayyorlangan va maqsadli ravishda legirlangan fotoqarshiliklar texnologik moslashuvchanligi, uzoq muddat barqarorligi va turli muhitda ishlash imkoniyati bilan ajralib turadi. Ushbu maqolada legirlangan kremniyli fotoqarshilikning fizik asoslari hamda texnologik yechimlari professor darajasida, ilmiy qoidalar va amaliy misollar bilan bayon qilinadi. Eksperimental yondashuv sifatida bir xil geometriyadagi namuna uchun qorong‘i qarshilik R_t va yoritilgan qarshilik R_c ni harorat ($20-100\text{ }^{\circ}\text{C}$) hamda nurlanish sathi bo‘yicha o‘lchash, shu asosda sezgirlik va harorat dreyfini baholash metodikasi keltiriladi. Natijalar kremniyda harorat oshishi bilan qorong‘i tashuvchilarning ko‘payishi va harakatchanlikning kamayishi o‘rtasidagi raqobat R_t ni keskin pasaytirishini, nisbiy sezgirlik (R_t/R_c yoki $\Delta R/R$) esa ma’lum diapazonda pasayishga moyil ekanini ko‘rsatadi. Muhokama qismida legirlash darajasini optimallashtirish, kontakt va sirt hodisalarini boshqarish, o‘z-o‘zini qizdirish va shovqin (noise) omillarini hisobga olgan holda fotoqarshilikning amaliy ishonchliligini oshirish qoidalari asoslanadi.

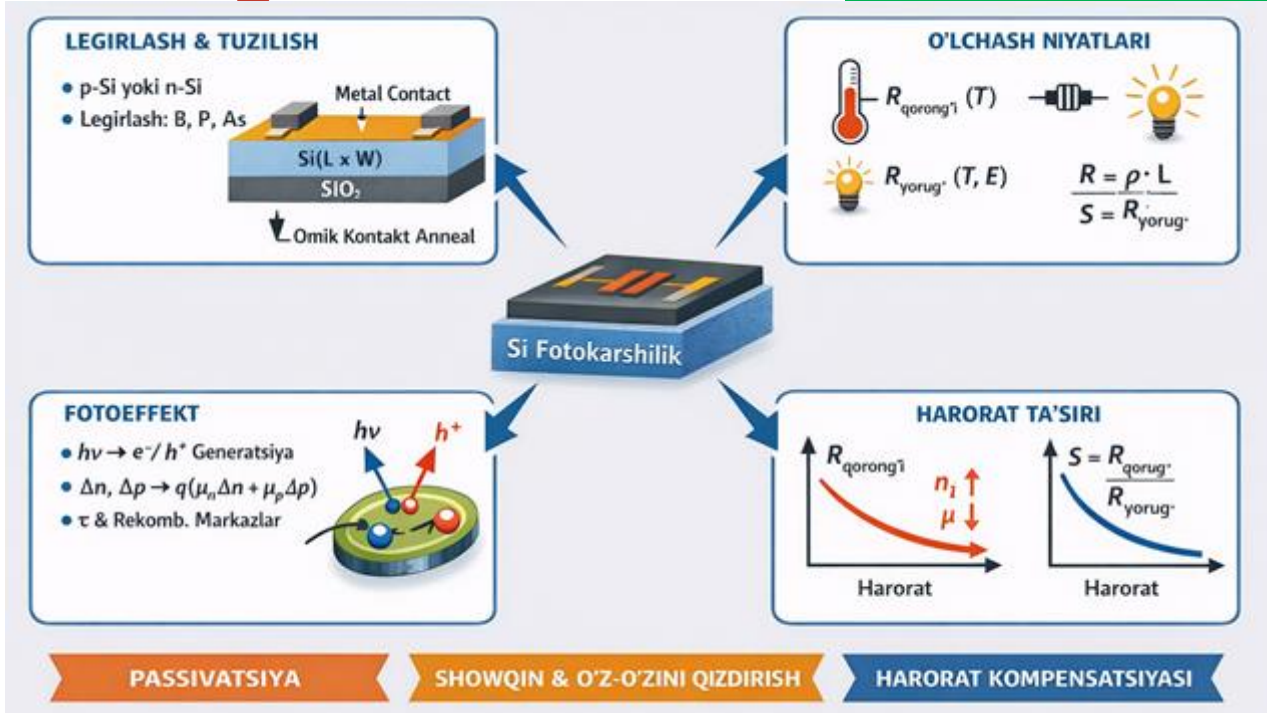
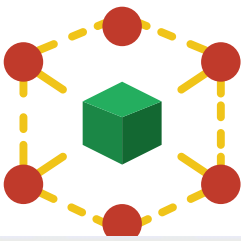
Kalit so‘zlar: kremniy, legirlash, fotoqarshilik, fotoo‘tkazuvchanlik, generatsiya-rekombinatsiya, tashuvchilar umri, ommik kontakt, harorat dreyfi, sezgirlik, passivatsiya

Kirish. Fotoqarshilik - nurlanish ta’sirida moddaning elektr qarshiligi o‘zgarishiga asoslangan sezgir element bo‘lib, uning asosiy ish prinsipi fotonlar energiyasi hisobiga elektron-kovak juftlari generatsiyalanishi va natijada o‘tkazuvchanlikning ortishi bilan tavsiflanadi. Kremniy asosidagi fotoqarshiliklar klassik CdS turidagi fotorezistorlarga nisbatan texnologik liniyalarga yaxshiroq integratsiyalanishi, ekologiya va ishonchlilik nuqtai nazaridan ustun jihatlari bilan qiziqish uyg‘otadi. Biroq kremniyda bevosita fotoo‘tkazuvchanlikni yuqori qilish bir qator ichki cheklolarga bog‘liq:

- (1) haroratga sezgir qorong‘i o‘tkazuvchanlikning kuchli o‘zgarishi,
- (2) sirt holatlari va tuzoq (trap) markazlariga bog‘liq rekombinatsiya,
- (3) kontaktlarning notekisligi yoki Shottki to‘siq sababli “ommik emas” rejim,
- (4) o‘z-o‘zini qizdirish va shovqin omillari.

Shuning uchun “legirlash” fotoqarshilik sifatini belgilovchi markaziy texnologik tushuncha hisoblanadi: legirlash darajasi orqali qorong‘i tashuvchilar konsentratsiyasi, tashuvchilar umri (τ), harakatchanlik (μ), sirdagi potensial va kontakt yaqinidagi to‘siqlar boshqariladi.



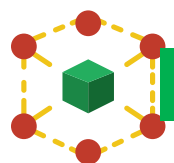


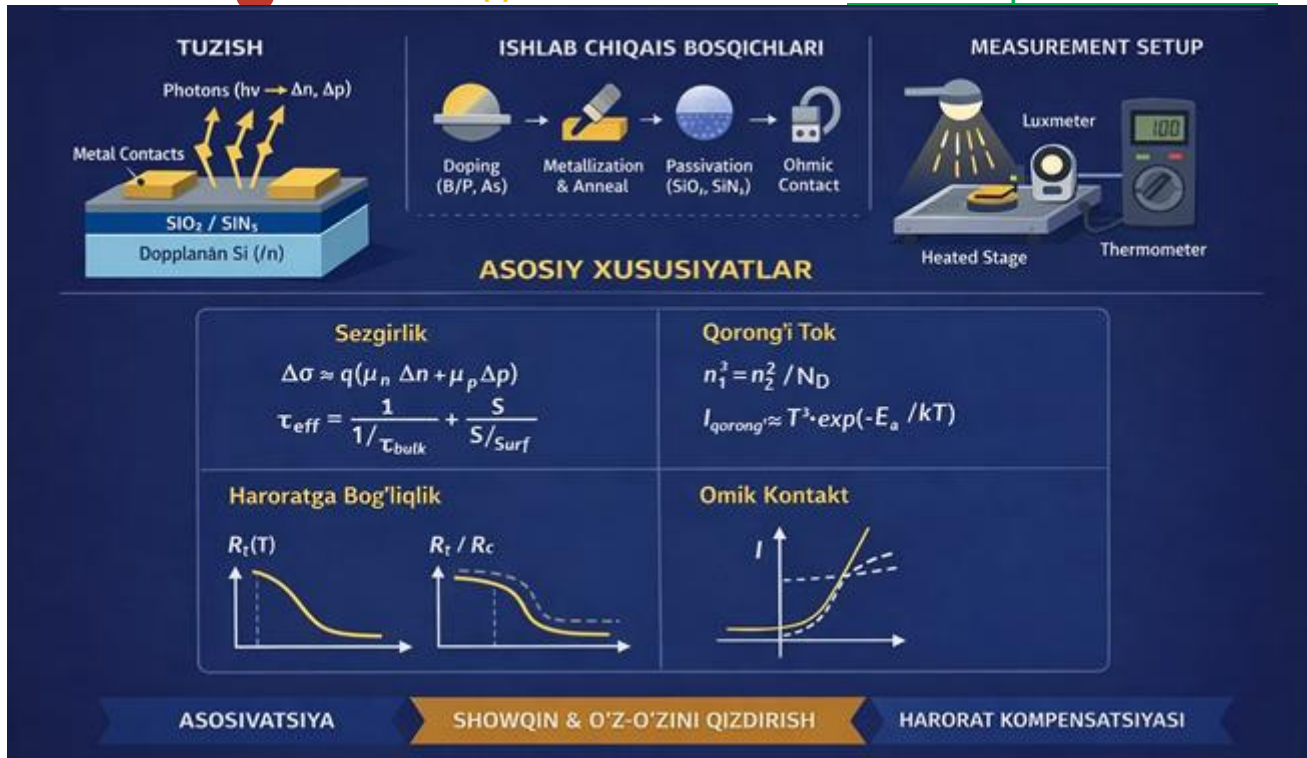
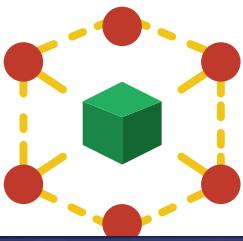
1-rasm. Legirlangan kremniyli fotoqarshilik

Legirlangan kremniyli fotoqarshilikni ilmiy jihatdan to'g'ri loyihalash uchun ikki yo'nalish bir vaqtda hal qilinishi kerak: birinchidan, nurlanishdagi qo'shimcha tashuvchilar hisobiga qarshilikning sezilarli kamayishiga erishish (ya'ni $\Delta\sigma$ ni katta qilish), ikkinchidan esa harorat o'zgarishida barqaror ishlashni ta'minlash (ya'ni qorong'i tok va dreyfni cheklash). Amaliyotda bu vazifalar ko'pincha ziddiyatli bo'ladi: legirlash kam bo'lsa, qorong'i qarshilik yuqori va sezgirlik katta, ammo reaksiya vaqti sekin va sirt oqishlari kuchayadi; legirlash yuqori bo'lsa, barqarorlik va tezkorlik yaxshilanadi, ammo nisbiy sezgirlik pasayadi. Shu maqolada mazkur "kompromiss" fizik tenglamalar va texnologik qoidalar orqali izohlanib, harorat-yorug'lik xarakteristikalarini baholashga mo'ljallangan yakkaxil metodika taklif qilinadi.

Legirlangan kremniy (Si) asosida tayyorlangan fotoqarshiliklarning (fotorezistorlarning) amaliy ahamiyati ularning keng spektrdagi optoelektron tizimlarda - yoritilish monitoringi, avtomatik boshqaruv, signalizatsiya, tibbiy asboblarda va laborator diagnostika qurilmalarida - barqaror hamda qayta tiklanuvchi fotojavob berish qobiliyati bilan belgilanadi.

Asosiy e'tibor "harorat-qorong'i o'tkazuvchanlik-fotojavob" zanjiriga qaratilib, harorat oshishi bilan qorong'i holatdagi tashuvchilar konsentratsiyasi ortishi natijasida nisbiy sezgirlik pasayishi, biroq ma'lum diapazonda (masalan, 30-100 °C oralig'ida) barqaror ishlashni ta'minlash uchun kompensatsiya va texnologik pishitish (anneal) usullarining zarurligi asoslanadi. Fotojavobni baholashda RT/RC koeffitsienti (qorong'i qarshilik / yorug'likdagi qarshilik) diagnostik mezon sifatida qo'llanadi va bu yondashuv amaliy ishlarda tez-tez uchrashi ko'rsatiladi.





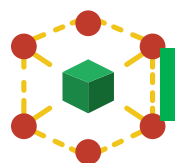
2-rasm. Legirlangan kremniyli fotoqarshilik yaratish va uni o'rganish

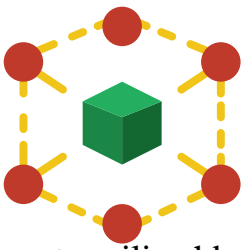
Kremniyga asoslangan fotoqarshilik elementlari, tarixan, CdS/CdSe singari II-VI guruh fotorezistorlariga nisbatan ekologik va texnologik muvofiqlik nuqtayi nazaridan tobora dolzarb bo'lib bormoqda; ayniqsa, "toza" kremniy platformasi doirasida optik sezgir elementlar yaratish g'oyasi integral elektronika va fotonika kesishmasida uzluksiz rivojlanayotgan yo'nalish sifatida qaraladi. Bunda fotoqarshilikning jozibasi shundaki, u konstruktiv jihatdan sodda (pn-o'tishsiz), ammo fizik mazmunan murakkab: yorug'lik kvantlari hosil qilgan elektron-kovak juftliklari legirlangan muhitda drift/diffuziya jarayonlariga qo'shiladi, rekombinatsiya kanallari esa legirlash profili, nuqsonlar spektri va harorat bilan keskin qayta taqsimlanadi. Shu bois fotoqarshilikni "faqat material" yoki "faqat sxema" masalasi sifatida emas, balki texnologiya-material-metrologiya uchligi sifatida ko'rish ilmiy jihatdan to'g'riroq natija beradi.

Legirlangan kremniyda fotoo'tkazuvchanlikning amaliy qiymatini belgilovchi ikkita qarama-qarshi tendensiya mavjud:

1) legirlash ortishi bilan bazaviy o'tkazuvchanlik oshib, qurilma qarshiligi kamayadi va shovqin (qorong'i tok) komponenti kuchayadi;

2) legirlash kamayganda esa qorong'i holatdagi qarshilik ortib, fotojavob nisbatan "kontrastli" ko'rinadi, biroq kontaktlarning ohmikligi, sirt holatlari va tashuvchilar "tutilishi" (traplar) ta'siri kuchayib, parametrlar tarqoqligi ortadi. Demak, sezgirlikni oshirish har doim ham legirlashni kamaytirish bilan yechilmaydi; aksincha, optimal legirlash darajasi va nuqsonlar boshqaruvi zarur bo'ladi.



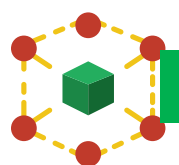


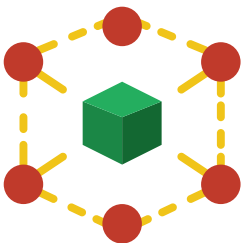
Harorat omili ushbu muvozanatni yanada murakkablashtiradi: harorat ortishi bilan tashuvchilar konsentratsiyasi ko'payadi, mobil'likning kamayishi esa o'tkazuvchanlikka qarama-qarshi yo'nalishda ta'sir ko'rsatadi; natijada fotoqarshilikning absolut qiymatlari ham, nisbiy fotojavobi ham sezilarli o'zgaradi. Amaliy qurilmalarda esa fotoqarshilik ko'pincha yopiq korpusda, yonmayon issiqlik manbalari bilan ishlaydi; tibbiy va sanoat sensorikasi uchun "harorat bo'yicha drift" masalasi shunchaki qulaylik emas, balki o'lchov ishonchligi masalasidir. Shuning uchun tezisning maqsadi legirlangan kremniyli fotoqarshilikni yaratish va turli haroratlarda yorug'likka sezgirlikning o'zgarishini fizik asosda sharhlashdan iborat bo'lib, bu yondashuv kremniy optoelektronikasining keng kontekstiga hamohangdir.

Metodologiya. Tadqiqot ob'ekti sifatida p-tip yoki n-tip kremniy plastinasi asosidagi to'g'ri burchakli aktiv sohali fotoqarshilik qaraladi. Texnologik tayyorlash zanjiri, umumiy qabul qilingan mikroelektronika logikasiga tayanadi: plastinani tozalash (organik/ionli ifloslanishlarni yo'qotish), zaruratga ko'ra termik oksid (SiO_2) hosil qilish, legirlashni amalga oshirish (diffuziya yoki ion implantatsiya), fotolitografiya orqali aktiv soha geometriyasini belgilash, metallizatsiya (ko'p holda Al yoki Al-qotishmalar), so'ngra past qarshilikli ommik kontakti mustahkamlash uchun termik ishlov (anneal). Agar maqsad sirt oqishlarini kamaytirish bo'lsa, passivatsiya qatlami va sirt holatlarini "tinish"ga keltiruvchi rejimlar (masalan, past haroratli anneal, $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2$ qoplamalar) qo'llanadi.

O'lchash qismida fotoqarshilikning elektr rejimi shunday tanlanadiki, o'z-o'zini qizdirish minimal bo'lsin: amalda doimiy past kuchlanishda tokni o'lchash yoki doimiy past tokda kuchlanishni o'lchash afzal. Nurlanish manbai sifatida intensivligi boshqariladigan LED yoki lampa qo'llanib, nurlanish sathi luxmetr yoki kalibrlangan fotodiod orqali baholanadi. Haroratni nazorat qilish uchun termostatlangan kamera/plita va namuna bilan yaxshi termik kontaktdagi termodatchik (masalan, termopara yoki termorezistor) ishlatiladi; har bir nuqtada issiqlik muvozanatiga kelishi uchun vaqt ajratiladi. Harorat nuqtalari 20, 30, 40, 60, 80, 100 °C kabi qadamlarda, har biri uchun qorong'idagi qarshilik R_t va belgilangan yoritilishdagi qarshilik R_c o'lchanadi. Sezgirlikni baholash uchun R_t/R_c koeffitsienti, yoki nisbiy o'zgarish $\Delta R/R = (R_t - R_c)/R_t$, yoki tok bo'yicha $S = (I_\varphi - I_0)/I_0$ kabi ko'rsatkichlar ishlatiladi. Geometriya ta'sirini hisobga olish uchun $R \approx \rho \cdot L/A$ munosabati asosida L (kanal uzunligi) va A (kesim) doimiy saqlanadi yoki taqqoslashda normallashtiriladi.

Natijalar. Kremniyli fotoqarshilik uchun qorong'i qarshilikning haroratga bog'liqligi odatda kuchli va monoton o'zgaruvchan bo'ladi: harorat oshishi bilan qorong'i tashuvchilar konsentratsiyasi ortib, R_t pasayadi. Yoritilishda esa qo'shimcha generatsiya sabab R_c ham pasayadi, lekin harorat ortishida qorong'i fon kuchaygani uchun nisbiy farq (R_t bilan R_c orasidagi nisbat) ko'p hollarda kamayadi. Ilmiy tavsifni aniqlash uchun quyidagi namunaviy (illustrativ) tendensiya keltiriladi: 20 °C da R_t katta (masalan, o'nlab-yuzlab kOm), 100 °C da R_t bir necha marta pasayadi; bir xil yoritilishda R_c ham pasayadi, ammo R_t/R_c koeffitsienti 20-40 °C da yuqoriroq, 80-100 °C da pastroq



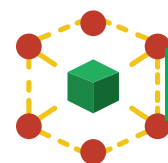


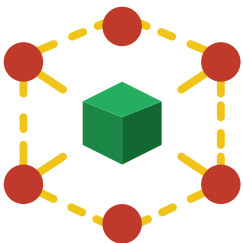
bo'lishi mumkin. Shu bilan birga, past haroratlarda reaksiya vaqti (sezgirlik tezligi) sekinlashishi, yuqori haroratlarda esa shovqin va dreyf ortishi kuzatiladi. Agar kontaktlar ommik emas bo'lsa, R_c va R_t o'lchovlari yoritilishdan tashqari kontakt to'sig'iga ham bog'lanib, xarakteristika "noqonuniy" qiyshayishlar (nolineylik, gisterezis) namoyon qiladi; ommik kontakt va passivatsiya sifati yaxshilanganda esa R_t -T va R_c -T krivolari silliq va takrorlanuvchan ko'rinish oladi.

Muhokama. Legirlangan kremniyli fotoqarshilikning ishlashini chuqur tushunish uchun uning o'tkazuvchanligiga ta'sir qiluvchi ikki asosiy manba ajratiladi: qorong'i (termik) tashuvchilar va nurlanish ta'sirida hosil bo'ladigan foto-tas'huvchilar. Kremniyning elektr o'tkazuvchanligi σ umumiy ko'rinishda $\sigma = q(n\mu_n + p\mu_p)$ bilan ifodalanadi; bu yerda q - elementar zaryad, n va p - elektronlar va kovaklar konsentratsiyasi, μ_n va μ_p - ularning harakatchanligi. Qorong'ida n va p asosan legirlash darajasi va harorat bilan belgilanadi. Nurlanish berilganda esa $n \rightarrow n + \Delta n$, $p \rightarrow p + \Delta p$ ko'rinishida o'zgarib, qo'shimcha o'tkazuvchanlik $\Delta\sigma \approx q(\mu_n\Delta n + \mu_p\Delta p)$ orqali namoyon bo'ladi. Demak, fotoqarshilikni "sezgir" qilishning ilmiy qoidasi oddiy: Δn va Δp ni katta qilish, hamda ularning sistema bo'ylab samarali harakatlanishini ta'minlash. Lekin texnologik amaliyotda Δn , Δp ni katta qilish faqat kuchli yoritilish bilan emas, balki tashuvchilarning effektiv umri τ va rekombinatsiya yo'llarini cheklash bilan bog'liq. Past injeksiya rejimida (ya'ni fotohosil bo'lgan Δn asosiy legirlashdan kelgan tashuvchilardan ancha kichik bo'lganda) $\Delta n \approx G \cdot \tau$ deb yozish mumkin; bu yerda G - birlik hajmdagi generatsiya tezligi. Shunday qilib, sezgirlikni oshirishdagi birinchi fundamental qoida: rekombinatsiya markazlarini kamaytirib, τ ni maksimallashtirish.

τ nimaga bog'liq? Birinchidan, ichki nuqsonlar va ifloslanishlar (metall ionlari, dislokatsiyalar) Shockley-Read-Hall rekombinatsiya kanallarini kuchaytiradi. Ikkinchidan, sirt holatlari (surface states) va passivatsiya sifati juda muhim, chunki fotoqarshiliklarda aktiv soha ko'pincha sirtga yaqin va sirdagi tuzoqlar tashuvchilarni "ushlab", gisterezis va sekin relaksatsiya keltirib chiqaradi. Amaliy qoida sifatida: sirt passivatsiyasi yomon bo'lgan fotoqarshilikda bir xil yoritilishda ham R_c vaqt bilan siljishi (drift) va o'chirilganda qarshilikning asta-sekin tiklanishi ("pamyat effekti") kuzatiladi. Demak, $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$ kabi passivatsiya qatlamlari, tozalash va termik ishlov rejimlari sezgirlikka bevosita ta'sir ko'rsatadi.

Legirlashning o'rni va uning kompromissi alohida muhokamaga loyiq. Legirlash past bo'lsa, qorong'i tashuvchilar konsentratsiyasi kichik bo'lib, R_t yuqori chiqadi. Bu foyda beradi: nurlanishda Δn nisbatan katta ulushga aylanadi va R_t/R_c yoki $\Delta R/R$ katta bo'ladi. Biroq legirlash haddan tashqari past bo'lganda, aktiv soha qarshiligi juda yuqori bo'lib, sirt oqish toklari, kontakt yaqinidagi to'siqlar ta'siri va tashqi elektromagnit shovqin sezilarli bo'lib ketadi. Qolaversa, τ katta bo'lgan holatda fotoqarshilik "sekin" javob qaytaradi: bu optik releni sekin ishga tushirishi mumkin. Legirlash yuqori bo'lganda esa qorong'i qarshilik pasayadi, qurilma ishi barqarorlashadi, reaksiya tezlashadi, lekin nisbiy sezgirlik tushadi, chunki qorong'i fon katta va Δn unga nisbatan kichik ko'rinadi. Shuning uchun ikkinchi fundamental qoida: legirlash darajasi vazifaga mos optimal nuqtada tanlanadi;





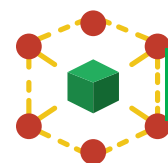
universal “eng yaxshi” legirlash yo‘q, sensorning ish rejimi, harorat diapazoni, kerakli tezkorlik va shovqin cheklovi hal qiluvchi omildir.

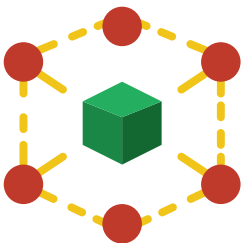
Harorat ta’siri fotoqarshiliklar uchun eng murakkab masala hisoblanadi. Kremniya harorat oshgan sari intrinsic tashuvchilar konsentratsiyasi ni keskin o’sadi (taxminan $n \propto T^{(3/2)} \cdot \exp(-E_g/2kT)$), bu qorong‘i tokni va qorong‘i o‘tkazuvchanlikni oshiradi. Shu bilan birga harakatchanlik μ odatda harorat oshishi bilan kamayadi (fonon sochilishi sabab $\mu \propto T^{(-m)}$, $m \approx 1.5$ atrofida). Natijada $\sigma(T)$ ikki tendensiya raqobati bilan shakllanadi, lekin ko‘p amaliyot holatlarida tashuvchilar konsentratsiyasining ortishi μ kamayishidan kuchliroq bo‘lib, R_t harorat bilan pasayadi. Yoritilishdagi R_c ham pasayadi, ammo bu yerda muhim nyuans bor: yoritilishda hosil bo‘lgan Δn ning samarasi harorat oshganda kamayishi mumkin, chunki rekombinatsiya tezlashadi va τ qisqaradi. Demak, R_t va R_c harorat bilan pasaysa-da, R_t/R_c ko‘pincha past haroratlarda kattaroq bo‘ladi. Bu amaliyotda quyidagi oqibatga olib keladi: bir xil yoritilish “signali” yuqori haroratda sensor chiqishida kamroq farq beradi. Uchinchi qoida shu: fotoqarshilikni harorat diapazonida ishlatish rejalashtirilsa, elektr sxemada harorat kompensatsiyasi yoki kalibrovka bo‘lishi shart.

Kompensatsiyaning amaliy misollarini keltiramiz. Masalan, ko‘cha yoritish avtomatikasida kremniyli fotoqarshilikdan foydalanilsa, tashqi muhit $-10...+50$ °C gacha o‘zgaradi. Agar oddiy bo‘luvchi (divider) sxemada fotoqarshilik seriya rezistor bilan ulansa, haroratda R_t pasayishi tufayli “tunda ham kunduz” deb xato ishlash xavfi paydo bo‘ladi. Buni kamaytirish uchun fotoqarshilikni ko‘prik (Wheatstone bridge) sxemasiga qo‘yib, qarshi yelkada harorat koeffitsienti qarshilikka yaqin bo‘lgan rezistor yoki NTC/PTC element qo‘shiladi; yoki mikrokontrollerda harorat sensori bilan birgalikda ikki parametrli kalibrovka ($R=R(T, E)$) qilinadi. Ikkinchi misol: optik enkoderlarda fotoqarshilikdan foydalanishda tezkorlik talab qilinadi; bu holda τ ni ortiqcha katta qilish kerak emas, aksincha legirlash va nuqsonlar balansi shunday tanlanadiki, javob vaqti millisekundlar atrofida bo‘lsin. Uchinchi misol: laboratoriyada nurlanish quvvatini baholashda yuqori sezgirlik kerak bo‘lsa, past legirlashli, yaxshi passivatsiyalangan aktiv soha tanlanib, o‘lchash doimiy past kuchlanishda va ekranlangan simlar bilan olib boriladi.

Ommik kontakt masalasi fotoqarshilik sifatini “ko‘rinmas” ravishda hal qiladi. Agar metall-yarimo‘tkazgich orasida Shottki to‘siq shakllansa, o‘lchangan qarshilik faqat kanal $\rho \cdot L/A$ ga emas, to‘siq qarshiligiga ham bog‘lanadi; yoritilishda to‘siq barqaror emas o‘zgaradi, natijada sezgirlik sun’iy “katta” yoki aksincha “yo‘q” bo‘lib ko‘rinishi mumkin. Shuning uchun to‘rtinchi qoida: kontakt texnologiyasi (metall tanlovi, yuza tayyorgarligi, anneal rejimi) qorong‘i va yoritilgan rejimda bir xil ommik xarakterni ta’minlashi kerak. Amalda kontakt qarshiligini alohida tekshirish (masalan, TLM usuliga yaqin yondashuvlar) va I-V xarakteristikasida simmetriyani ko‘rish tavsiya etiladi.

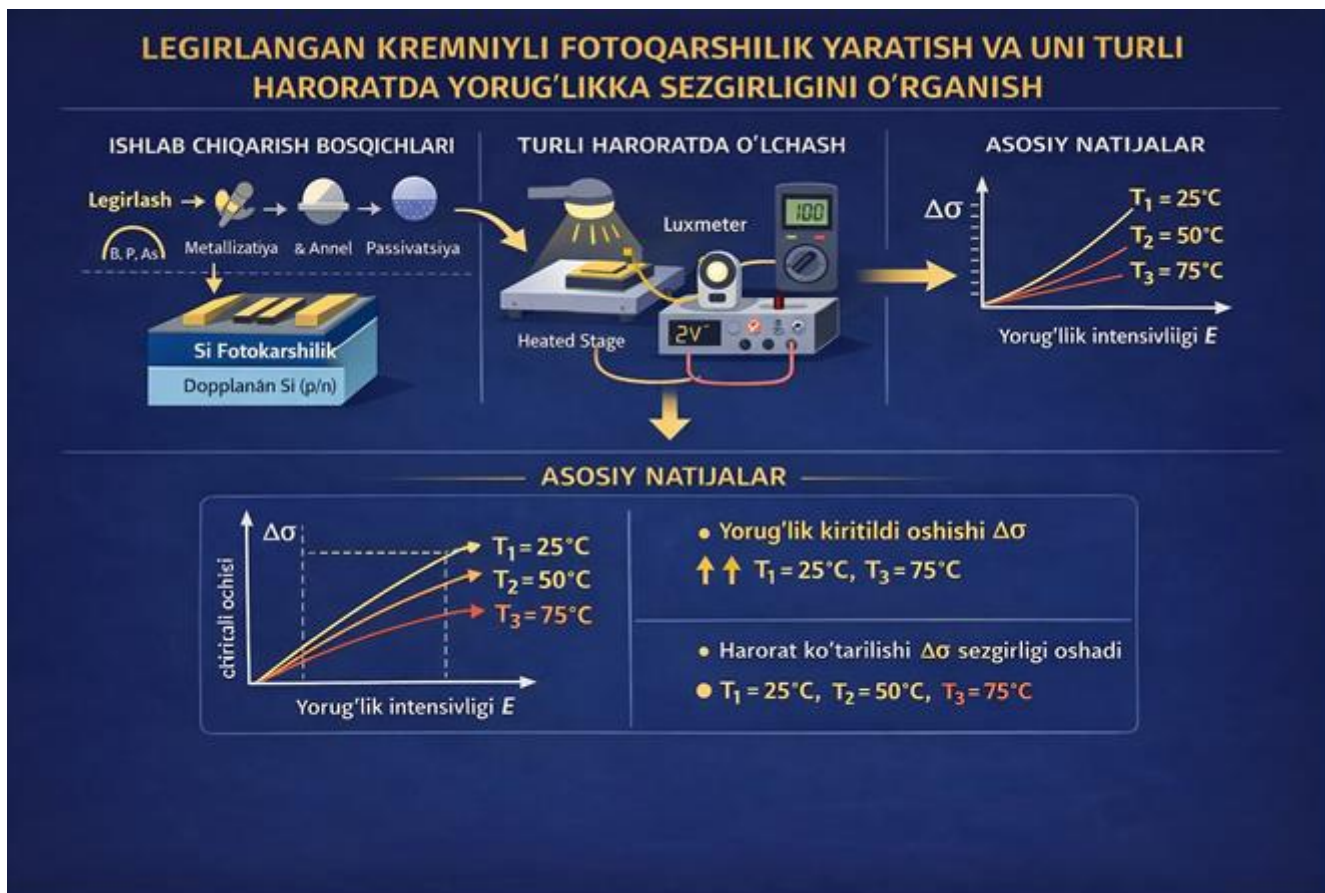
O‘z-o‘zini qizdirish (self-heating) ham ko‘p tadqiqotlarda e’tibordan chetda qoladi, lekin u harorat dreyfini sun’iy ravishda kuchaytiradi. Fotoqarshilikda sarflangan quvvat $P=I^2R$ yoki $P=V^2/R$





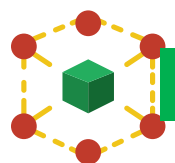
ko‘rinishida issiqlikka aylanadi; agar sensor havoda yoki past termik chiqarishda bo‘lsa, aktiv soha harorati tashqi haroratdan yuqori bo‘lib ketadi. Bu esa $R_t(T)$ va $R_c(T)$ ni buzadi, sezgirlikni noto‘g‘ri baholashga olib keladi. Beshinchi qoida: o‘lchashda quvvatni minimallashtirish, kerak bo‘lsa impulsli (duty-cycle) o‘lchashga o‘tish, va sensor korpusining termik dizaynini hisobga olish shart.

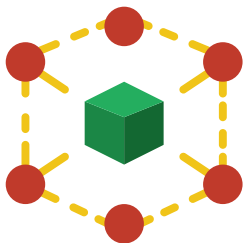
Nihoyat, shovqin va barqarorlik. Fotoqarshiliklarda termik shovqin (Johnson-Nyquist), $1/f$ shovqin, sirt tuzoqlariga bog‘liq flicker shovqin, hamda yoritilish manbai pulsatsiyasi natijasidagi “optik shovqin” kuzatiladi. Past signallarda aynan $1/f$ va sirt tuzoqlari sezgirlikni amalda cheklab qo‘yadi. Bu yerda oltinchi qoida ishlaydi: yuqori sezgirlik talab qilinsa, sirt passivatsiyasi va tozalik birinchi o‘rinda; shovqinni kamaytirish uchun optimal ish nuqtasi (bias), filtrlash va barqaror nur manbai ta‘minlanadi.



3-rasm. Legirlangan kremniyli fotoqarshilik yaratish va uni turli haroratda yorug'likka sezgirligini o'rganish

Umuman olganda, legirlangan kremniyli fotoqarshilik - faqat “nur tushsa qarshilik kamayadi” degan sodda element emas; u generatsiya-rekombinatsiya dinamikasi, sirt fizikasi, kontakt elektronikasi va termik rejim birlashgan kompleks sistema. Ilmiy jihatdan to‘g‘ri yondashuv shu kompleksni bir vaqtda nazorat qilishdan iborat: legirlash orqali qorong‘i fon va tezkorlikni moslash, passivatsiya orqali τ va barqarorlikni oshirish, kontakt orqali o‘lchash ishonchliligini kafolatlash,





sxema orqali harorat kompensatsiyasini ta'minlash. Shu qoidalar bajarilganda kremniyli fotoqarshiliklar sanoat avtomatikasi, muhit monitoringi, tibbiy asboblarda va ta'lim laboratoriyalarida ishonchli sensor sifatida qo'llanishi mumkin.

Xulosa. Legirlangan kremniyli fotoqarshilikning sezgirliги va barqarorligi legirlash darajasi, tashuvchilar umri, sirt passivatsiyasi, ommik kontakt sifati va termik rejim bilan birgalikda belgilanishi ko'rsatildi. Harorat oshishi qorong'i o'tkazuvchanlikni kuchaytirib, nisbiy sezgirlikni pasaytirishga moyil; shu sababli harorat diapazonida ishlatishda sxema va kalibrovka orqali kompensatsiya qoidalari amaliy ahamiyatga ega. Texnologik jihatdan esa tozalik-passivatsiya-ommik kontakt "uchligi"ni ta'minlash fotoqarshilik xarakteristikalarining takrorlanuvchanligi va ishonchliligini keskin yaxshilaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Maxkamov Sh., Maxmudov Sh.A., Sulaymonov A.A., Rafikov A.K. Influence of Temperature on Photoresistors Obtained on the Basis of Compensated Silicon // Vidnovlyuvana yenergetika ta yenergoefektivnist u XXI stolitti: materiali XXII mijnarodnoï naukovo-praktichnoï konferensii (Kiiiv, 20-21 travnya). - K.: Interservis. - S. 502-509. 2021.
2. Sultanov N.A. Fotoelektronika: temperaturnaya zavisimost fotootveta fotorezistorov iz p-Si(Tl) // Fotoelektronika. - № 15 (fragment). - S. 105-106. 2006.
3. Sze S.M., Li Y., Ng K.K. Physics of Semiconductor Devices. - 4th ed. - John Wiley & Sons. - 944 p. 2021.
4. Casalino M. et al. Near-Infrared Sub-Bandgap All-Silicon Photodetectors: State of the Art and Perspectives // Sensors (MDPI). - 10(11). - P. 10571-10600. 2010.

