INTERNATIONAL JOURNAL OF TECHNOLOGY AND ACADEMIC RESEARCH

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

YARIMO‘TKAZGICHLARDA FOTOELEKTRIK HODISANING SPEKTRAL XUSUSIYATLARINI MODELLASHTIRISH

Xamidov Laziz Shukurillayevich,

Sattarova Gulrux Ilxomovna,

Jo‘rayev Shohrux Faxriddin o‘g‘li

Qarshi Davlat Universiteti

laziz0066@gmail.com

Doi: https://doi.org/10.5281/zenodo.23259808

Annotatsiya: Ushbu maqolada yarimo‘tkazgichlarda yorug‘lik yutilishi natijasida yuzaga keladigan ichki fotoelektrik hodisaning spektral xususiyatlari nazariy jihatdan modellashtiriladi. Fotogeneratsiya, ta’qiqlangan zona kengligi, kvant samaradorligi va spektral sezgirlik o‘rtasidagi bog‘lanishlar ko‘rib chiqiladi. Kremniy fotodetektori misolida sodda hisoblash modeli asosida turli to‘lqin uzunliklari uchun sezgirlik qiymatlari baholanadi. Hisoblashlar eksperimental o‘lchov emas, tanlangan namunaviy kvant samaradorligi qiymatlariga asoslangan nazariy misol ekanligi alohida qayd etiladi.

Kalit so‘zlar: yarimo‘tkazgich, ichki fotoeffekt, fototok, spektral sezgirlik, kvant samaradorligi, ta’qiqlangan zona, kremniy.

1. KIRISH

Yarimo‘tkazgichlarda fotoelektrik hodisa yorug‘lik energiyasining elektr signali bilan bog‘lanishini ta’minlovchi asosiy fizik jarayonlardan biridir. Fotodiodlar, quyosh elementlari, tasvir sensorlari va optoelektron o‘lchash tizimlari ushbu hodisaga tayanadi. Qurilmaning muayyan spektr oralig‘ida qanday javob berishi uning material tarkibi, tuzilishi va zaryad tashuvchilarni yig‘ish samaradorligiga bog‘liq.

Fotoelektrik hodisaning spektral tavsifini o‘rganish turli to‘lqin uzunliklarida hosil bo‘ladigan fototokni bashorat qilishga imkon beradi. Ayniqsa, optik qabul qilgich materialini tanlashda, sezgirlikning maksimal sohasini aniqlashda va detektorlarning ish diapazonini baholashda matematik modellashtirish muhimdir.

Tadqiqotning maqsadi – yarimo‘tkazgichdagi ichki fotoeffektning asosiy fizik qonuniyatlarini tavsiflash, spektral sezgirlikning soddalashtirilgan matematik modelini tuzish va kremniy misolida hisoblash natijalarini sharhlash. Ishda laboratoriya tajribasi yoki yangi o‘lchov ma’lumotlari da’vo qilinmaydi.

2. FIZIK ASOSLAR

Fotonning energiyasi $E=h\nu=hc/\lambda$ ifoda bilan aniqlanadi. Bu yerda: h – Plank doimiysi, ν – yorug‘lik chastotasi, c – yorug‘lik tezligi, λ – yorug‘likning to‘lqin uzunligi. Foton energiyasi yarimo‘tkazgichning ta’qiqlangan zona kengligi E_g ga yetarli bo‘lganda, elektron valent zonadan o‘tkazuvchanlik zonasiga o‘tishi mumkin. Natijada elektron-kovak juftligi paydo bo‘ladi.

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

Yutilgan fotonlarning hammasi tashqi elektr zanjirida tok hosil qilmaydi: rekombinatsiya, sirt yo‘qotishlari, qaytish va kontaktlarning xususiyatlari natijaga ta’sir qiladi. Shu bois fotonlarning elektr tokiga aylanishi kvant samaradorligi orqali ifodalanadi.

3. MATEMATIK MODELLASHTIRISH

Monoxromatik nurlanish uchun tushayotgan optik quvvat $P(\lambda)$ va fotonlar oqimi $\Phi(\lambda)$ orasida $\Phi(\lambda) = P(\lambda)\lambda/(hc)$ bog‘lanish mavjud. Tashqi kvant samaradorligi $\eta(\lambda)$ – tushayotgan har bir fotonga mos ravishda tashqi zanjirda yig‘ilgan elektronlar sonining o‘rtacha qiymatini bildiradi. Bir fotonga ko‘pi bilan bitta yig‘ilgan elektron mos keladigan oddiy rejimda $0 \le \eta \le 1$ deb olinadi.

Fototok $I_{ph}(\lambda)=q\eta(\lambda)\Phi(\lambda)$ bo‘lib, bu yerda q – elementar zaryad. Spektral sezgirlik $R(\lambda)=I_{ph}(\lambda)/P(\lambda)$ deb ta’riflansa, quyidagi asosiy model kelib chiqadi:

$$R(\lambda)=q\eta(\lambda)\lambda/(hc)\approx\eta(\lambda)\lambda(\text{nm})/1240 \quad [\text{A/W}]$$

Mazkur tenglama bir foton-bir elektron modeli uchun o‘rinli. Ichki kuchaytirishga ega fotodetektorlarda yoki murakkab ko‘p tashuvchili jarayonlarda alohida model talab qilinadi.

Materialning spektral chegarasini taxminan $\lambda_g(\text{nm})\approx1240/E_g(\text{eV})$ ifodasi bilan baholash mumkin. Xona haroratidagi kremniy uchun $E_g\approx1{,}12$ eV qabul qilinsa, chegaraviy to‘lqin uzunligi taxminan 1107 nm chiqadi. Bu keskin amaliy chegara emas: yutilish koeffitsiyenti, harorat va qurilma geometriyasi javob shaklini o‘zgartiradi.

Yutilish chuqurligini tavsiflovchi sodda Beer-Lambert modeli $I(x,\lambda)=I_0(\lambda)e^{-\alpha(\lambda)x}$ ko‘rinishida yoziladi. Bu yerda $\alpha(\lambda)$ – yutilish koeffitsiyenti, x – material ichidagi masofa. Agar qalinlik d bo‘lsa, qaytish va boshqa yo‘qotishlar e’tiborga olinmagan sharoitda yutilgan yorug‘lik ulushi $A(\lambda)=1-e^{-\alpha(\lambda)d}$ bo‘ladi.

Amaliy modelda $\eta(\lambda)$ qiymati yutilish, sirt qaytishi va zaryad tashuvchilarni yig‘ish samaradorligiga bog‘liq: $\eta(\lambda)\approx[1-\rho(\lambda)]\cdot[1-e^{-\alpha(\lambda)d}]\cdot C(\lambda)$. Bu yerda ρ – qaytish ulushi, C – yig‘ish samaradorligi. Ushbu ko‘paytma yaqinlashuvi murakkab transport jarayonlarining to‘liq yechimi emas, balki ularning asosiy ta’sirlarini ajratib ko‘rsatadigan soddalashtirishdir.

4. HISOBLASH NATIJALARI

Modelni namoyish etish uchun kremniy fotodetektorining 400-1100 nm oralig‘idagi beshta spektral nuqtasi tanlandi. Quyidagi η qiymatlari real qurilmadan o‘lchanmagan, balki hisoblashni ko‘rsatish maqsadida taxminan belgilangan. Ular asosida $R(\lambda)=\eta\lambda/1240$ formulasi bo‘yicha sezgirlik hisoblandi.

λ, nm	$\eta(\lambda)$, namunaviy	$R(\lambda)$, A/W
400	0,65	0,210
600	0,80	0,387
800	0,85	0,548

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

1000	0,55	0,444
1100	0,10	0,089

1-jadval. Kremniy fotodetektori uchun namunaviy parametrlar asosida hisoblangan spektral sezgirlik.

Jadvaldan ko‘rinadiki, tanlangan shartli kvant samaradorligi qiymatlarida sezgirlik 400 nm dan 800 nm gacha ortib, keyin pasayadi. 800 nm da R≈0,548 A/W bo‘lib, bu jadvaldagi eng yuqori qiymatdir. Biroq bu qiymat barcha kremniy fotodetektorlari uchun universal maksimum emas; haqiqiy spektral maksimum qurilma tuzilishi va $\eta(\lambda)$ funksiyasiga bog‘liq.

Masalan, 600 nm uchun hisoblash: $R=0{,}80\times600/1240\approx0{,}387$ A/W. Agar shu to‘lqin uzunligida tushayotgan optik quvvat 1 mW bo‘lsa, ideal chiziqli rejimda fototok $I_{ph}\approx0{,}387$ mA bo‘ladi. Bu natija qorong‘ilik toki va tashqi elektronika ta’sirini hisobga olmaydi.

Kichik to‘lqin uzunliklarida yorug‘lik sirtga yaqin yutiladi va sirt rekombinatsiyasi sezgirlikni kamaytirishi mumkin. Uzun to‘lqinlarda esa foton energiyasi ta’qiqlangan zona chegarasiga yaqinlashgani sari yutilish susayadi. Shuning uchun spektral sezgirlikning haqiqiy shakli oddiy λ ko‘paytuvchisi bilan emas, aynan $\eta(\lambda)$ ning spektral o‘zgarishi bilan belgilanadi.

Hisoblashdagi asosiy cheklov shuki, η qiymatlari mustaqil o‘lchovlar yoki ma’lum bir fotodiodning pasport tavsifidan olinmagan. Shuning uchun jadval fizik modelni tushuntiradi, ammo ishlab chiqarish yoki ilmiy eksperiment uchun kalibrlangan prognoz o‘rnini bosa olmaydi.

5. MUHOKAMA

Spektral xususiyatlarni aniq modellashtirish uchun faqat ta’qiqlangan zona kengligi yetarli emas. Har bir to‘lqin uzunligidagi yutilish koeffitsiyenti, aktiv qatlam qalinligi, sirtning optik qaytaruvchanligi, p-n o‘tish maydoni, diffuziya uzunligi va rekombinatsiya tezligi ham muhim hisoblanadi. Material va qurilma tuzilishiga qarab, ushbu parametrlar sezgirlik egri chizig‘ining balandligi hamda kengligini o‘zgartiradi.

Kremniy ko‘rinadigan yorug‘lik va yaqin infraqizil sohada keng qo‘llanadi. Biroq undan uzunroq to‘lqinlarni qabul qilish uchun kichikroq ta’qiqlangan zonali boshqa yarimo‘tkazgichlar talab qilinishi mumkin. Material tanlashda nafaqat spektral diapazon, balki qorong‘ilik toki, shovqin, haroratga sezgirlik, javob tezligi va narx ham baholanishi kerak.

Taklif etilgan modelni rivojlantirishning keyingi bosqichi – $\eta(\lambda)$ ni haqiqiy o‘lchovlar yoki materialning $\alpha(\lambda)$ spektri orqali aniqlash. Keyin hisoblangan $R(\lambda)$ tajriba natijalari bilan solishtirilib, o‘rtacha kvadratik xatolik kabi mezonlar yordamida modelning mosligi tekshirilishi mumkin. Haroratning E_g va rekombinatsiya parametrlariga ta’sirini kiritish ham prognozning ishonchliligini oshiradi.

6. XULOSA

Yarimo‘tkazgichlarda ichki fotoelektrik hodisaning spektral xususiyatlari foton energiyasi, materialning ta’qiqlangan zona kengligi, optik yutilish va zaryad tashuvchilarni yig‘ish samaradorligi bilan belgilanadi. $R(\lambda)=q\eta(\lambda)\lambda/(hc)$ tenglamasi spektral sezgirlikni tushuntirish uchun qulay boshlang‘ich model hisoblanadi.

ISSN: 2224-6878 | Pakistan Volume 6, No. 10.

IF: 14.91 | 2026 http://waerasia.org/index.php/ijtar

Kremniy misolida tanlangan namunaviy parametrlar bilan bajarilgan hisoblash 800 nm nuqtada 0,548 A/W sezgirlikni ko‘rsatdi. Ushbu natija nazariy misol bo‘lib, eksperimental tasdiqlangan qurilma tavsifi sifatida talqin qilinmasligi kerak. Aniqlikni oshirish uchun materialga xos yutilish koeffitsiyentlari, qaytish va rekombinatsiya jarayonlarini qo‘shish zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Sze S. M., Ng K. K. Physics of Semiconductor Devices. 3rd ed. Wiley, 2006.

2. Saleh B. E. A., Teich M. C. Fundamentals of Photonics. 2nd ed. Wiley, 2007.

3. Nelson J. The Physics of Solar Cells. Imperial College Press, 2003.

4. Yu P. Y., Cardona M. Fundamentals of Semiconductors: Physics and Materials Properties. 4th ed. Springer, 2010.

5. Green M. A. Third Generation Photovoltaics: Advanced Solar Energy Conversion. Springer, 2003.

6. Pierret R. F. Semiconductor Device Fundamentals. Reprint ed. Pearson, 2006.