

## YARIMO‘TKAZGICHLARNING OPTIK XUSUSIYATLARI

**Avezov Ismoil Yoshuzoq o‘g‘li**

Osiyo xalqaro universiteti (OXU) fizika o‘qituvchisi

Email: [ismoil.avezov.yoshuzoqvich@gmail.com](mailto:ismoil.avezov.yoshuzoqvich@gmail.com)

**To‘qsonova Zilola Izatulloevna**

Buxoro davlat universiteti o‘qituvchi,

Email: [tuqsanova@gmail.com](mailto:tuqsanova@gmail.com)

**Axadova Maftuna Murod qizi**

Buxoro davlat universiteti talabasi.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10836581>

### ANNOTATSIYA

*Ushbu maqolada yarim o‘tkazgichlar optik xususiyatlari yarim o‘tkazgich uchun Maksvell tenglamalari yechimlari, zonal tuzilishi va energiya darajalariga e’tibor qaratgan holda bayon qilingan. Biz shuningdek, ushbu xususiyatlar yarim o‘tkazgichlar yorug‘likning yutilishi va chiqarilishiga qanday ta’sir qilishini ko‘rib chiqamiz.*

**Kalit so‘zlar** Yarimo‘tkazgich, Maksvell tenglamalari, dielektrik, oqimining zichligi, o‘tkazuvchanlik, elektron, burchak chastota, optik konstanta, muhitning nur sindirish ko‘fsentini, ruxsat etilgan soha, taqiqlangan soha, optik yutilish ko‘rsatkichi.

### АННОТАЦИЯ

*В этой статье описаны оптические свойства полупроводников с акцентом на решения уравнений Максвелла для полупроводников, зональную структуру и уровни энергии. Мы также рассмотрим, как эти свойства влияют на то, как полупроводники поглощают и излучают свет.*

**Ключевые слова:** полупроводник, уравнения Максвелла, диэлектрик, плотность потока, проводимость, электрон, угловая частота, оптическая постоянная, коэффициент преломления света среды, допустимая область, запрещенная область, показатель оптического поглощения.

Yarimo‘tkazgichda nurlar dastasining tarqalishini Maksvell tenglamalari yechimlari bilan tasvirlash mumkin.

$$\begin{cases} \operatorname{rot} E = -\mu_0\mu \frac{\partial H}{\partial t} & \operatorname{div} E = 0 \\ \operatorname{rot} H = \varepsilon_0\varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} + \sigma E & \operatorname{div} H = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Sistemaning ikkinchi tenglamasi (2.1)da, dielektriklardan farqli o‘laroq, elektr o‘tkazuvchanlik oqimining zichligi  $\mathbf{j} = \sigma\mathbf{E}$  hisobga olinadi, chunki ko‘pchilik yarimo‘tkazgichlar elektr xossalari elektronlarga qaraganda metallarga yaqinroqdir.

Yuqoridagi (1) tenglama si xalqaro birliklar sistemasida berilgan,  $\mu_0, \varepsilon_0$ , shu sistemadagi ma’lum kattaliklar.  $\sigma(\omega), \mu(\omega), \varepsilon(\varepsilon)$  kattaliklar xususiy o‘tkazuvchanlik, magnit va dielektrik singdiruvchanlilar ushbu kattaliklar yarimo‘tkazgichlar anizotrop bo‘lib, ikkinchi (yoki undan yuqori) darajadagi tensorlar bilan ifodalanadi. Agar kub kristallaridagi optik hodisalarga elektromagnit to‘lqinning zaif maydonidan tashqari tashqi maydonlar tasiri bo‘lmasa, u holda  $\sigma, \mu, \varepsilon$ - skalyar qiymatlar. Quyidagi tengliklardan foydalanib

$$\operatorname{rot} \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \operatorname{rot} H$$

$$\operatorname{rot}(\operatorname{rot} E) = \operatorname{rot} \left( -\mu_0\mu \frac{\partial H}{\partial t} \right) = -\mu_0\mu \frac{\partial}{\partial t} \operatorname{rot} H = -\mu_0\mu \frac{\partial}{\partial t} \left( \varepsilon_0\varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} + \sigma E \right)$$

Ma’lum formulalarni qo‘laymiz:

$$\operatorname{rot}(\operatorname{rot} E) = \operatorname{grad}(\operatorname{div} E) - \nabla^2 E, \quad \operatorname{grad}(\operatorname{div} E) = 0$$

Bundan:

$$(2)\nabla^2 E = \Delta E = -\mu_0\mu\sigma \frac{\partial E}{\partial t} + \mu_0\mu\varepsilon_0\varepsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

2-formuladagidek tenglama  $H$  uchun ham o‘rinli bo‘ladi. 2-tenglamaning yechimlaridan biri:

$$(3) E = E_0 e^{i\omega\left(t - \frac{z}{v}\right)}$$

bu  $v$  tezlikda  $Z$  yo‘nalishda  $\omega$  burchak chastota bo‘yicha tarqaladigan to‘lqin.

3- tenglikni 2- tenglika qo‘yadigan bo‘lsak:

$$(4) v^{-2} = \mu_0 \mu \varepsilon_0 \varepsilon - i \frac{\mu_0 \mu \sigma}{\omega}$$

Bu kompleks sindirish ko‘rsatkichiga mos keladi:

$$(5) n_* = n - ik$$

Yorug‘lik vakuumda tarqalish tezligi  $c^{-2} = (-\mu_0 \varepsilon_0)^{-1}$  optik diapazonda yarimo‘tkazgichlarning aksariyati zaif magnit (paramagnet) xususiyatlarga ega, ya’ni  $\mu \approx 1$

Yuqoridagilardan  $n$ -muhitning nur sindirish ko‘fsentini yozsak:

$$(6) \varepsilon = (n - ik)^2 = \varepsilon - i \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \omega} = \varepsilon - i \varepsilon^*$$

Boshqa korinishda yozsak:

$$(7) \begin{cases} n^2 - k^2 = \varepsilon(\omega) \\ 2nk = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \omega} = \varepsilon^*(\omega) \end{cases}$$

(5) va (6) larni solishtrib xulosa beradigan bo‘lsak,  $n, k$  va  $\varepsilon, \varepsilon^*$ , moddaning umumiy optik konstantalari, elektromagnit to‘lqin va yutuvchi muhitning o‘zaro ta’sirini tavsiflovchi makroskopik parametrlari bilan tengdir.

Berilgan sharti asosida  $n$  va  $k$  ni bir-biri bilan bog‘laydigan formulalarni yozadigan bo‘lsak:

$$(8) \begin{cases} n = 1 + \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\omega k}{\omega^2 - \omega_0^2} d\omega \\ k = -\frac{2\omega_0}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{n}{\omega^2 - \omega_0^2} d\omega \end{cases}$$

Yuqoridagi 1- formula yordamida istalgan  $\omega_0$  chastotada noldan cheksiz intervalda yutilish spektri sindirish indeksining spektrini hisoblash mumkin va aksincha. Xuddi shunday, boshqa munosabatlar ham yozilishi mumkin.

$$\begin{cases} n^2 - k^2 = \varepsilon(\omega) \\ 2nk = \varepsilon^*(\omega) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon(\omega_0) = (n^2 - k^2)_{\omega_0} = 1 + \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\omega \varepsilon^*(\omega)}{\omega^2 - \omega_0^2} d\omega \\ \varepsilon^*(\omega_0) = (2nk)_{\omega_0} = -\frac{2\omega_0}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\varepsilon(\omega)}{\omega^2 - \omega_0^2} d\omega \end{cases}$$

Optik konstantalar orasidagi bu muhim nisbatlar, ko'pincha Kramers - Kronig nisbatlari deb ataladi.

(3), (4), (5) formularga kelib chiqan formulalarni qo'lasak:

$$E = E_0 e^{i\omega(t - \frac{nZ}{c})} e^{i\omega(-\frac{k\omega Z}{c})}$$

$k$  yutilish ko'rsatkichi yarimo'tkazgichdagi elektromagnit to'liqning pasayishini tavsiflaydi. Energiya nuqtai nazaridan (to'liqin energiyasi amplituda kvadratiga mutanosib) moddaning yutilishini tavsiflash uchun ko'pincha:

$$\alpha = \frac{2\omega k}{c} = \frac{4\pi k}{\lambda} \quad (10)$$

kattalik ishlatiladi.

Elektromagnit to'liqin va moddaning o'zaro ta'sirining ba'zi holatlarida ma'lum bir energiya yo'qotilishi paydo bo'lishi mumkin, bu odatda

$$k_* = \text{Im} \frac{\varepsilon^*(\omega)}{\varepsilon^2(\omega) + \varepsilon^{*2}(\omega)} = \frac{2nk}{(n^2 + k^2)^2} \quad (11)$$

formula bilan ifodalanadi.

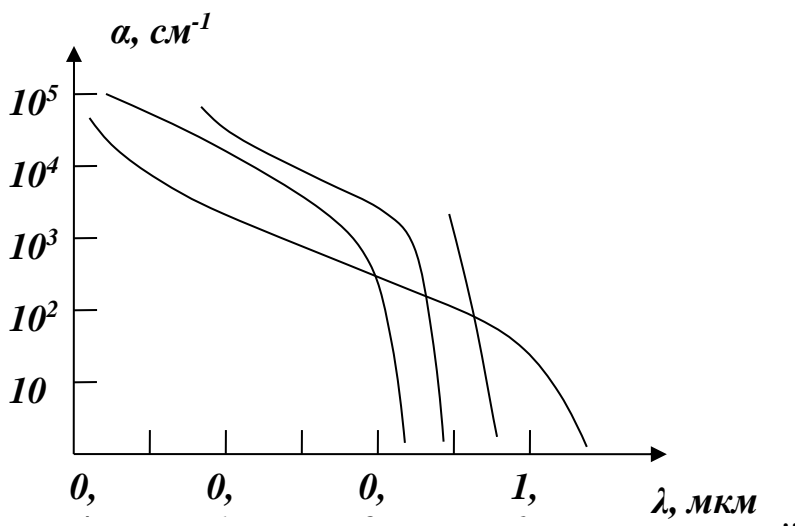
Kvant mexanikasi bo'yicha qaraydigan bo'sak istalgan elementar zaracha, shu bilan bir qatorda elektronda ham qandaydir to'liqin funksiyasi bor hisoblanadi. Shuning uchun elementar zarrachalar harakatini o'rganishda energiya ( $E$ ) va impuls ( $P$ ) bilan bir qatorda, ularning to'liqin uzunliklari  $\lambda$  chastotasi  $\nu$  va to'liqin vektori  $K = P/h$ , ( $h$  – Plank doimiysi) ham ishlatiladi. Bu erda  $E = h\nu$  va  $P = h/\lambda$  ga teng.

Optik yutilishni o'lchanishidan aniqlangan  $E_{g(\text{taqiqlangan soha})}$  ning kattaligi, ko'pincha yarim o'tkazgich materialdagi erkinzaryad tashuvchilarning konsentratsiyasiga, haroratga va kirishmalar energetik sathlarining ta'qiqlangan sohada mavjudligiga bog'liq bo'ladi. Agar energetik zonalarni qaraydigan bo'lsak o'tkazuchanlik sohasi tubidagi yani taqiqlangan soha atrofidagi va valent soha yuqorisidagi holatlar zaryad tashuvchilar elektronlar bilan to'ldirilgan bo'lsa, u holda krishmali yarim o'tkazgich materiallar uchun  $E_g$  sof xususiy materialga qaraganda kattaroq bo'lishi mumkin. Agarda kirishmalar hosil qilgan soha yani akseptor yoki doner sathi eng yaqin ruxsat etilgan soha chegarasi bilan tutashib ketsa, u holda  $E_g$  kamayayishini ko'rishimiz mumkin.  $E_g$  ning bunday kamayishi asosiy yutilish chegarasida ko'rinadi.

Materiallarda yutilish koeffitsienti  $\alpha$  ni qaraydigan bo'lsak odatda to'lqin energiyasining  $1/\alpha$  masofada  $e$  marotaba kamayishi orqali aniqlanishini ko'rishimiz mumkin va u:

$$N = N_0 \exp(-\alpha \ell)$$

dan topiladi. Bu erda  $N$  – yarim o'tkazgich materialda  $\ell$  chuqurlikka kirgan fotonlar oqimining zichligi,  $N_0$  – material sirtini kesib o'tuvchi fotonlar oqimining zichligi.



**1- rasm** Yarim o'tkazgichli ayrim materiallar uchun optik yutilish ko'rsatkichining energiyada o'zgarishi. 1 – Si, 2 – CdTe, 3 – GaAs, 4 – InP.

Yarim o'tkazgich materialning yutilish koeffitsienti  $\alpha$  va yutilish ko'rsakichi  $K$  lar uchun  $\alpha = 4\pi K / \lambda$  formula o'rinli. Yuqoridagi formulalar yordamida ma'lum qalinlikka ega bo'lgan yarim o'tkazgich orqali o'tayotgan optik nurlanish intensivligini o'zgartirib  $K$  va  $\lambda$  larning shu modda uchun malum bo'gan qiymatlarini topish mumkin.

1-rasmda bugungi kunda asosiy elektronika elementlari yaaladigan yarim o'tkazgich materiallarining ayrimlari uchun  $\alpha$  yutilish ko'fsentining energiyaga bog'liq o'zgarishi keltirilgan. Rasmdan ko'rinib turibdiki yutilish ko'rsatkichi bo'lgan  $\alpha$  ning spektral xarakteristikasi turli yarim o'tkazgich bo'lgan materiallarda bir-biridan birmuncha katta farq qiladi va bu farq asosan bu modular energetik zonalar tuzulishiga va yorug'lik nuriga tasirchanligiga bog'liq bo'ladi. Masalan *GaAs*, *CdTe*, , *InP* materiallarini qaraydigan bo'lsak to'g'ridan-to'g'ri energetik zonalar xarakteridagi optik o'tishlar mavjud bo'lib, nurlanish spektrida  $E_g$  taqiqlangan soha erergiyasidan yuqori energiyali fotonlar tasir qilishi bilan  $\alpha$  tezda  $10^4 - 10^5 \text{ cm}^{-1}$  daja qadar ko'tariladi.

Kremniy materiallarida esa taqiqlangan soha  $1,14 \text{ eV}$  bo'lganligi uchun yutilish jarayoni  $1,14 \text{ eV}$  dan boshlab yuqorida aytganimizdek to'g'ri bo'lmagan energetik o'tishlar orqali kechada. Shuning uchun, yutilish ko'rsatkichi  $\alpha$  yarim o'tkazgichlarda asta-sekin ortib boradi. Faqat yorug'lik fotonlari energiyasi  $2,5 \text{ eV}$  ga yetgandan keyingina soha-sohali orasidagi o'tishlar to'g'ridan-to'g'ri o'tishlarga aylanadi boradi va yutilshi ko'fsenti  $\alpha$  keskin orta boradi.

Yutilish koeffitsientining spektral xarakteristikasi chuquroq qaraydigan bo'lsak shu ko'rsatadiki, elektronikada eng ko'p ishlatiladigan kremniy materialidan foydalangan holda, Quyosh spektrining sezilarli to'lqin kengligida elektr toki olish mumkin.

**FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR**

1. *Зайнобиддинов С.З., Тешабоев А. Ярим утказгичлар физикаси. Тошкент. «Укитувчи», 1999.*
2. *Туксанова, З. И., & Ахадова, М. М. к. (2024). ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВ. GOLDEN BRAIN, 2(1), 553–559. Retrieved from <https://researchedu.org/index.php/goldenbrain/article/view/6046>*
3. *Avezov, I. Y. o'g'li, & Xusenova, E. E. (2024).//РАДИОАКТИВ NURLARNING INSON ORGANIZMIGA TA'SIRI. GOLDEN BRAIN, 2(3), 161–167. <https://researchedu.org/index.php/goldenbrain/article/view/6183>*
4. *Авезов , И. Ё. ў., & Гулрух Сирожиддин қизи, М. (2023). РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТКС13 НА БАЗЕ ПТК ППТС ВВЭР-1000. GOLDEN BRAIN, 1(34), 261–265. Retrieved from <https://researchedu.org/index.php/goldenbrain/article/view/5603>*
5. *Avezov, I. Y. o'g'li, Sobirova, M. O. qizi, & Safarova, M. F. qizi. (2023). АТОМ ФИЗИКАСИ ЛАБОРАТОРИЯ ДАРСЛАРИДА ЭЛЕКТРОН ДАСТУР ВА АНИМАТСИЯЛАР. GOLDEN BRAIN, 1(11), 164–168. Retrieved from <https://researchedu.org/index.php/goldenbrain/article/view/3147>*
6. *Avezov Ismoil, Saidov Q.S.//RESPUBLIKAMIZDA AES DAN FOYDALANISH ISTIQBOLLARI//Involta Scientific Journal// 2022-05-25. Vol. 1 No. 6 (2022): "Involta" Ilmiy jurnali.*