

GaAs YORUG'LIK YUTISH KOEFFITSIENTIGA HARORATNI TA'SIRI

Qo'chqarov Xoshimjon Ortiqovich,

Namangan davlat universiteti dotsenti

Voxobjonova Xurshidaxon Avazbek qizi

Namangan davlat universiteti magistranti

E-mail: vokhobjonovakhurshidakhon@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu ishda galliy arsenid (GaAs) yarimo'tkazgichining yorug'lik yutish koeffitsientiga haroratning ta'siri nazariy jihatdan o'rganildi. Ruxsat etilgan to'g'ridan-to'g'ri o'tishlar va zona dumchasi hissalarini uchun analitik ifodalardan foydalanib, yutish koeffitsienti spektri foton energiyasining funksiyasi sifatida hisoblandi. Haroratga bog'liqlik esa taqiqlangan zona kengligi $E_g(T)$ uchun Varshni tenglamasi orqali hisobga olindi. Hisoblash natijalari adabiyotlarda keltirilgan tajribaviy ma'lumotlar bilan yaxshi muvofiqlik ko'rsatdi. Ushbu natijalar GaAs ning optik xatti-harakatini chuqurroq tushunishga hissa qo'shadi va GaAs asosidagi fotoelektrik hamda optoelektron qurilmalarni loyihalash va optimallashtirish uchun foydali bo'lishi mumkin.

Kalit so'zlar: Taqiqlangan soha kengligi, yorug'lik yutish koeffitsienti, *yutilish chegarasi*, zona dumchasi.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА КОЭФФИЦИЕНТ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА GaAs

Кучкаров Хошимжон Ортикович,

Наманганский государственный университет, доцент

Вохобжонова Хуршидагон Авазбек кизи

Наманганский государственный университет, магистрант

Аннотация: В данной работе теоретически исследовано влияние температуры на коэффициент поглощения света полупроводника арсенида

галлия (GaAs). С использованием аналитических выражений для разрешённых прямых переходов и вкладов хвоста зоны был рассчитан спектр коэффициента поглощения как функция энергии фотона. Температурная зависимость учитывалась через уравнение Варшни для ширины запрещённой зоны $E_g(T)$. Результаты расчётов показали хорошее согласие с экспериментальными данными, представленными в литературе. Полученные результаты вносят вклад в более глубокое понимание оптического поведения GaAs и могут быть полезны при проектировании и оптимизации фотоэлектрических и оптоэлектронных устройств на основе GaAs.

Ключевые слова: Ширина запрещённой зоны, коэффициент поглощения света, край поглощения, хвост зоны.

EFFECT OF TEMPERATURE ON THE OPTICAL ABSORPTION COEFFICIENT OF GaAs

Qo‘chqarov Xoshimjon Ortiqovich,

Namangan State University, Associate Professor

Vokhobjonova Khurshidakhon Avazbek qizi

Namangan State University, Master's Student

Abstract: *In this work, the effect of temperature on the optical absorption coefficient of gallium arsenide (GaAs) semiconductor was theoretically investigated. Using analytical expressions for allowed direct transitions and band tail contributions, the absorption coefficient spectrum was calculated as a function of photon energy. The temperature dependence was incorporated through the Varshni equation for the bandgap energy $E_g(T)$. The calculated results showed good agreement with experimental data reported in the literature. These findings contribute to a deeper understanding of the optical behavior of GaAs and may be useful for the design and optimization of GaAs-based photovoltaic and optoelectronic devices.*

Keywords: *Bandgap energy, optical absorption coefficient, absorption edge, band tail.*

Kirish

Yarimo'tkazgichlarning elektron xossalari ularning energiya zonalari va ruxsat etilgan holatlar taqsimoti bilan belgilanadi. Shu sababli zona tuzilishini tajribaviy o'rganish uchun eng qulay usullardan biri optik yutilish hodisasidir. Yutilish jarayonida tashqi elektromagnit nurlanish kvanti — foton — o'z energiyasini elektronlarga uzatadi va elektron pastroq energiyali holatdan yuqoriroq energiyali holatga o'tadi. Foton energiyasi aniq ma'lum bo'lgani sababli, qaysi energiya farqlariga mos o'tishlar sodir bo'layotganini aniqlash mumkin bo'ladi.

Amaliy jihatdan bu tajriba monoxromator yordamida amalga oshiriladi. Monoxromator nurlanishni ma'lum energiya (yoki to'lqin uzunligi) bo'yicha ajratib beradi, uning chiqishiga yarimo'tkazgich namunasi qo'yiladi va namuna orqali o'tgan nurlanish intensivligi o'lchanadi. Agar ma'lum energiyadagi fotonlar elektronlar tomonidan yutilsa, uzatilgan nurlanish intensivligi kamayadi. Shu kamayishlarni tahlil qilish orqali elektronlar amalga oshirishi mumkin bo'lgan o'tishlar aniqlanadi va holatlar zichligining energiya bo'yicha taqsimoti haqida muhim ma'lumot olinadi [1,2].

Yutilish miqdoriy jihatdan $\alpha(h\nu)$ yutilish koeffitsiyenti bilan tavsiflanadi. Bu koeffitsiyent yorug'lik nuri yarimo'tkazgich ichida tarqalayotganda, uning intensivligi qanchalik tez kamayishini ifodalaydi. Shu sababli $\alpha(h\nu)$ ning foton energiyasiga bog'liqligi yutilish spektrini tashkil etadi va u orqali yarimo'tkazgichning zona tuzilishi hamda undagi turli energetik o'tishlar haqida batafsil xulosa chiqarish mumkin bo'ladi.

GaAs TAQIQLANGAN SOHASIGA HARORATNI TA'SIRI.

Adabiyotlar tahlili.

Harorat oshishi bilan yarimo'tkazgich kristallidagi atomlararo masofa o'rtacha qiymati ortadi, ya'ni kristall panjarasi kengayadi. Bu kengayish atomlararo o'zaro

ta'sir potensialini o'zgartirib, valentlik va o'tkazuvchanlik zonalari chekkalarining siljishiga olib keladi. Natijada taqiqlangan zona harorat oshishi bilan o'zgaradi; bu o'zgarish material turiga qarab taqiqlangan zonaning kamayishi yoki ayrim hollarda ortishi ko'rinishida namoyon bo'lishi mumkin.

Bundan tashqari, harorat ortishi atomlarning muvozanat holati atrofidagi tebranish amplitudasini kuchaytiradi. Atomlarning bunday tartibsizroq harakati elektronlar uchun potensialning vaqt bo'yicha tebranishiga olib keladi va buning natijasida energetik holatlar aniq qiymatdan kengroq intervalga "yoyiladi", ya'ni energiya darajalari kengayadi. Bu hodisa zonalarning noaniqlashuvi sifatida namoyon bo'ladi. Bosim ta'sirida kuzatilganidek, harorat ham aralashma darajalarining mutlaq energiya qiymatiga bevosita emas, balki u bog'langan zona chekkasining siljishi orqali ta'sir qiladi [3]. Shu sababli aralashmaning ionlanish energiyasi deyarli o'zgarmay qoladi, ya'ni aralashma darajasi zona chekkasiga nisbatan o'z holatini saqlab qoladi.

Shuningdek, elektronlar bilan panjara tebranishlari (fononlar) o'rtasidagi o'zaro ta'sir mavjud bo'lib, bu o'zaro ta'sir haroratga juda kuchli bog'liqdir. Past haroratlarda, ya'ni Debay haroratidan ancha kichik qiymatlarda, fononlar soni kam bo'ladi va taqiqlangan zonaning o'zgarishi asosan haroratning kvadratiga mutanosib bo'ladi. Aksincha, Debay haroratidan ancha yuqori haroratlarda fononlar soni ko'payadi va taqiqlangan zonaning haroratga bog'liqligi deyarli chiziqli ko'rinish oladi. Shu sababli amaliy hisob-kitoblarda ko'plab yarimo'tkazgichlar uchun taqiqlangan zonaning haroratga bog'liqligi maxsus empirik formula yordamida ifodalanadi. Bu formula past va yuqori harorat sohalaridagi xatti-harakatni birgalikda hisobga olish imkonini beradi [4].

$$E_g(T) = E_g(0) - \left(\frac{\alpha \cdot T^2}{\beta + T} \right) \quad (1)$$

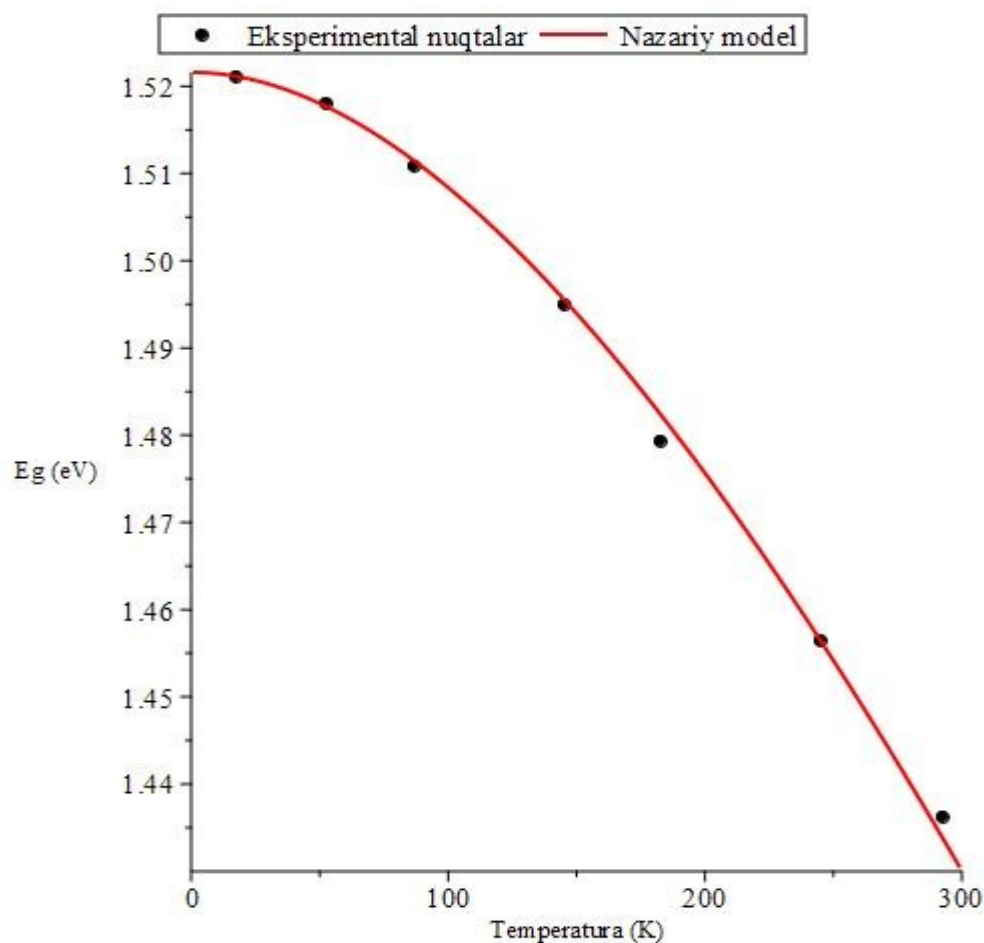
bu yerda $E_g(0)$ — 0°K da taqiqlangan zonaning qiymati va α hamda β — konstantalar.

Haroratning yarimo'tkazgichdagi eng muhim ta'siri shundaki, u elektron va kovaklarning energetik holatlarda qanday taqsimlanishini keskin o'zgartiradi. Bu taqsimlanish Boltsman yoki Fermi–Dirak statistikasi orqali aniqlanadi va holatlarning band bo'lish ehtimoli haroratga eksponensial bog'liq bo'ladi. Shu sababli haroratning nisbatan kichik o'zgarishi ham o'tkazuvchanlik zonasidagi elektronlar soni va valentlik zonasidagi kovaklar sonining sezilarli darajada ortishiga yoki kamayishiga olib kelishi mumkin [5].

Bundan tashqari, zaryad tashuvchilar soni faqat harorat bilan emas, balki tashqi qo'zg'atishlar orqali ham oshirilishi mumkin. Masalan, yorug'lik bilan yoritish natijasida elektron–kovak juftlari hosil bo'ladi yoki yuqori energiyali elektronlar bilan bombardimon qilish orqali qo'shimcha erkin tashuvchilar paydo bo'ladi. Agar bunday jarayonlar natijasida yarimo'tkazgichda erkin tashuvchilar konsentratsiyasi juda katta bo'lsa, ular orasidagi Kulon o'zaro ta'siri kuchli ekranlanadi.

Ekranlangan Kulon o'zaro ta'siri valentlik va o'tkazuvchanlik zonalarining chekkalarini buzib, energetik holatlarning energiya bo'shlig'i ichiga cho'zilib kirishiga olib keladi. Bu holat energiya bo'shlig'ining samarali ravishda torayishiga, ya'ni "gap shrinkage" hodisasiga sabab bo'ladi. Bunday erkin tashuvchilar sababli yuzaga keladigan energiya bo'shlig'ining qisqarishi germaniy [6] va galliy arsenid [7] kabi materiallarda tajribada tasdiqlangan (1-rasm).

Eksitonlarga kelsak, ular elektron va kovakning o'zaro bog'langan holati bo'lib, ularning mavjudligi faqat issiqlik energiyasi eksitonning bog'lanish energiyasidan kichik bo'lgan sharoitda barqaror bo'ladi. Harorat shunday darajaga yetganda-ki, kT eksitonning bog'lanish energiyasi E_x dan katta bo'lsin, eksitonlar termik ravishda parchalanib ketadi. Bu holatda eksitonlarning yashash vaqti qisqaradi. Yashash vaqtining qisqarishi esa kvant mexanik noaniqlik prinsipi tufayli energiyaning kengayishiga olib keladi: eksiton qancha qisqa vaqt yashasa, uning energiyasi shuncha katta intervalda noaniq bo'ladi.



1-rasm: GaAs taqiqlangan soha kengligini haroratga bog'liqligi.

Tadqiqot metodologiyasi

Asosiy yutilish hodisasi yarimo'tkazgichlarda elektronlarning valentlik zonasidan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tishi bilan bog'liq bo'ladi. Shu jumladan, elektron va kovakning bog'langan holati bo'lgan eksitonlar hosil bo'lishi ham asosiy yutilishga kiradi. Bu jarayonlar energetik jihatdan eng sodda va to'g'ridan-to'g'ri o'tishlar bo'lib, yutilish spektrida tez o'sish shaklida namoyon bo'ladi. Shu sababli asosiy yutilishdan yarimo'tkazgichning taqiqlangan zonani aniqlashda foydalanish mumkin.

Biroq, asosiy yutilish jarayonlari tanlov qoidalariga bo'ysunadi. Bu qoidalar ba'zi elektron o'tishlariga ruxsat bermaydi yoki ularni zaiflashtiradi. Shuning uchun "yutilish chekkasi" (absorption edge) dan taqiqlangan zonani hisoblash oddiy va

bevosita jarayon emas. Bu jarayonni aniqlashda, raqobat qiluvchi boshqa yutilish mexanizmlari, masalan, aralashmalar bilan bog‘liq o‘tishlar yoki subzonalar o‘rtasidagi o‘tishlar hisobga olinishi lozim.

Yutilish jarayoni fotonning momenti bilan bog‘liq jihatlarni ham o‘z ichiga oladi. Foton momenti $p=h/\lambda$ juda kichik bo‘ladi, chunki yorug‘likning to‘lqin uzunligi λ minglab angstrumlarga teng, bu esa kristall panjarasi doimiysi a bilan ifodalangan elektron momenti h/a ga nisbatan juda kichik. Shu sababli foton yutilish jarayoni elektron momenti saqlanishini talab qiladi, ya’ni elektron o‘tishida momenti deyarli o‘zgarmaydi.

Yutilish koeffitsiyenti $\alpha(h\nu)$ esa bir necha omillarga bog‘liq: o‘tish ehtimoli P_{if} — elektron boshlang‘ich holatdan yakuniy holatga o‘tish ehtimoli; boshlang‘ich holatdagi elektron zichligi n_i — qanchalik ko‘p elektron boshlang‘ich holatda mavjud bo‘lsa, o‘tish ehtimoli shuncha katta; yakuniy holatdagi bo‘sh joylar zichligi n_f — elektron uchun bo‘sh holatlar qancha ko‘p bo‘lsa, o‘tish shuncha oson amalga oshadi. Bularning barchasi $h\nu$ energiya farqi bilan ajralgan holatlar orasidagi barcha mumkin bo‘lgan o‘tishlar uchun yig‘iladi. Shu bilan yutilish koeffitsiyenti foton energiyasiga bog‘liq bo‘lib, spektr orqali elektron holatlarining taqsimoti haqida ma’lumot beradi.

$$\alpha(h\nu) = A \sum P_{if} n_i n_f (2)$$

Soddalashtirish maqsadida, ko‘p hollarda barcha pastki holatlar to‘ldirilgan va barcha yuqori holatlar bo‘sh deb qabul qilinadi. Bu shart 0°K haroratda legirlanmagan yarimo‘tkazgichlar uchun to‘g‘ri bo‘ladi. Shu holda yutilish jarayoni faqat elektronlarni pastki energiyali holatlardan yuqori energiyali holatlarga o‘tkazishga qaratilgan bo‘ladi va boshqa murakkab omillar hisobga olinmaydi.

Natijalar va ularning tahlili.

Fotonning impulsi kristalldagi elektron impulsiga nisbatan juda kichik bo‘lgani sababli, yutilish jarayonida impuls saqlanishi sharti elektronning boshlang‘ich va yakuniy holatlari bir xil k-qiyamatga ega bo‘lishini talab qiladi. To‘g‘ridan-to‘g‘ri

valleylar orasidagi o'tishlarda bu shart avtomatik ravishda bajariladi. Shu sababli impulsni saqlovchi barcha mumkin bo'lgan o'tishlar ruxsat etilgan hisoblanadi.

Bunday holatda elektronning valentlik zonasidan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tish ehtimoli P_{if} foton energiyasiga bog'liq bo'lmaydi, ya'ni o'tish ehtimoli deyarli doimiy deb qaraladi. Bu esa yutilish jarayonini soddalashtiradi va uning asosiy xususiyatlari holatlar zichligi bilan belgilanishiga olib keladi.

Energiya nuqtayi nazaridan qaranganda, valentlik zonasidagi har bir boshlang'ich holatning energiyasi E_i (zona cho'qqisiga nisbatan manfiy qiymat) o'tkazuvchanlik zonasida mos keluvchi yakuniy holat energiyasi E_f bilan bog'langan bo'ladi. Elektron foton yutganda, u energiyasi $h\nu$ ga teng bo'lgan kvantni oladi va energiya saqlanish qonuniga ko'ra, yakuniy holat energiyasi boshlang'ich holat energiyasi va yutilgan foton energiyasi orqali aniqlanadi. Shu sababli ularning orasida

$$E_f = h\nu - |E_i| \quad (3)$$

munosabati bajariladi.

Bu tenglama shuni bildiradiki, berilgan foton energiyasi uchun valentlik zonasidagi qaysi energiyali holatdan elektron qo'zg'atilmasin, unga o'tkazuvchanlik zonasida aynan shunga mos keluvchi energiyali holat mavjud bo'ladi. Aynan shu sababli ruxsat etilgan to'g'ridan-to'g'ri o'tishlar yutilish spektrida silliq va keskin o'sish bilan namoyon bo'ladi.

Ammo parabolik zonalarda,

$$E_f - E_g = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_e} \quad \text{va} \quad E_i = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_h}$$

Shuning uchun:

$$h\nu - E_g = \frac{\hbar^2 k^2}{2} \left(\frac{1}{m_e} + \frac{1}{m_h} \right)$$

shunda to'g'ridan-to'g'ri bog'langan holatlar zichligini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$N(h\nu)d(h\nu) = \frac{8\pi k^2 dk}{(2\pi)^3} = \frac{(2m_r)^{3/2}}{2\pi^2 \hbar^3} (h\nu - E_g)^{1/2} d(h\nu) \quad (4)$$

bu yerda m_r — keltirilgan massa bo‘lib, u quyidagicha aniqlanadi $1/m_r = 1/m_e^i + 1/m_e^i$. Demak, yutilish koeffitsiyenti quyidagicha bo‘ladi.

$$\alpha(h\nu) = A(h\nu - E_g)^{1/2} \quad (5)$$

bu yerda A quyidagicha berilgan [8]:

$$A \approx \frac{q^2 \left(2 \frac{m_e^i m_h^i}{m_e^i + m_h^i} \right)^{3/2}}{nc \hbar^2 m_e^i} \quad (6)$$

sinish ko‘rsatkichi $n=4$ deb olinib va kovak hamda elektronning effektiv massalari erkin elektron massasiga teng deb faraz qilinganda, quyidagi natija olinadi.

$$\alpha(h\nu) \approx 2 \cdot 10^4 (h\nu - E_g)^{1/2} \text{ sm}^{-1}$$

bu yerda $h\nu$ va E_g elektron-volt (eV) da ifodalanadi (2-rasm).

Zona dumchasi ishtirokidagi yutilish koeffitsienti berilgan $h\nu$ uchun mumkin bo‘lgan barcha o‘tishlar bo‘yicha integrallangan boshlang‘ich va yakuniy holatlar zichliklarining ko‘paytmasiga proporsionaldir:

$$\alpha(h\nu) = A \int_{\xi_p}^{h\nu - \xi_p} |E_v|^{1/2} \exp \frac{E}{E_0} dE \quad (7)$$

Endi E_v o‘rniga $E - h\nu$ ni qo‘yamiz va quyidagi o‘zgaruvchini almashtirishni kiritamiz:

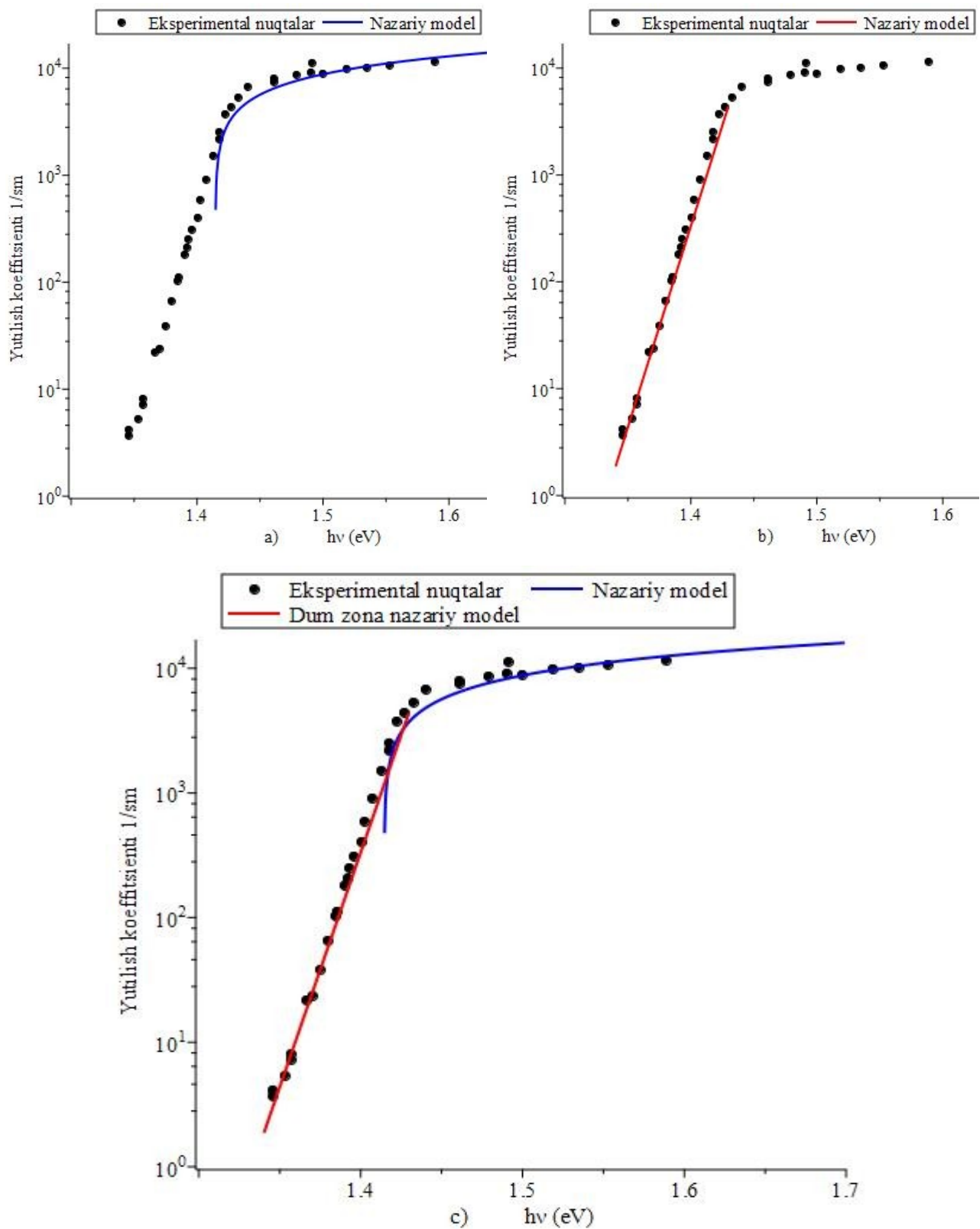
$$x = \frac{h\nu - E}{E_0}$$

Shunda (7) tenglama quyidagi ko‘rinishga keladi:

$$\alpha(h\nu) = -A e^{h\nu/E_0} (E_0)^{3/2} \int_{(h\nu + \xi_p)/E_0}^{\xi_p/E_0} x^{1/2} e^{-x} dx \quad (8)$$

Pastki integral chegarasi ∞ deb olinadi, chunki $h\nu \gg E_0$. Bu esa integralning $h\nu$ ga bog‘liq bo‘lmasligiga olib keladi va natijada quyidagi yechim hosil bo‘ladi:

$$\alpha(h\nu) = A (E_0)^{3/2} e^{h\nu/E_0} \left(\frac{1}{2} (\pi)^{1/2} - \int_0^{\xi_p/E_0} x^{1/2} e^{-x} dx \right) \quad (9)$$



2-rasm: a) Tajriba nuqtalari va to'g'ridan-to'g'ri o'tish modeli (5-tenglama); b) Tajriba nuqtalari va zona dumchasi modeli (9-tenglama); c) Tajriba nuqtalari, to'g'ridan-to'g'ri o'tish va zona dumchasi modellari bir grafikda ko'rsatilgan [9].

Xulosa

Ushbu ishda GaAs yarimo'tkazgichining yorug'lik yutish koeffitsientiga haroratning ta'siri nazariy usulda o'rganildi. Ruxsat etilgan to'g'ridan-to'g'ri o'tishlar va zona dumchasi hissalarini uchun analitik ifodalar asosida yutish koeffitsienti spektri hisoblandi. Taqiqlangan zona kengligi $E_g(T)$ ning haroratga bog'liqligi Varshni tenglamasi orqali hisobga olindi.

Olingan natijalar shuni ko'rsatdiki, harorat oshishi bilan taqiqlangan zona kengligi kamayadi va natijada yutish chegarasi past energiyalar tomonga siljiydi. Bu esa GaAs ning optik xususiyatlarini bevosita belgilaydi.

Hisob-kitob natijalari adabiyotlarda keltirilgan tajribaviy ma'lumotlar bilan yaxshi muvofiqlik ko'rsatdi. Bu esa qo'llanilgan nazariy yondashuvning GaAs uchun ishonchli ekanligini tasdiqlaydi.

Xulosa qilib aytganda, ushbu nazariy model GaAs asosidagi quyosh elementlari va boshqa optoelektron qurilmalarning optik xususiyatlarini oldindan baholashda samarali vosita bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Sze, S. M. (1981). Physics of Semiconductor Devices (2nd ed.). Wiley-Interscience.
2. Bass, M. (2001). Handbook of Optics (2nd ed.). McGraw-Hill.
3. Haug, H., & Koch, S. W. (1990). Quantum Theory of the Optical and Electronic Properties of Semiconductors (2nd ed.). World Scientific Publishing.
4. Y. P. Varshni, (1967) temperature dependence of the energy gap in semiconductors.
5. H.Qo'chqorov, X.Voxobjonova (2025) "kristall yarimo'tkazgichlar yorug'lik yutish koeffitsientiga haroratni ta'siri", YOFTRIA-V, 91-93 b.
6. V. M. Asnin and A. A. Rogatchev, Soviet Phys.-Solid State 5, 1730 (1963).
7. N. Holonyak Jr., M. R. Johnson and J.A. Rossi, Applied Phys. Letters 12, 151 (1968).

8. J. Bardeen, F. J. Blatt, and L. H. Hall, Proc. of Atlantic City Photoconductivity Conference (1954), J. Wiley and Chapman and Hall (1956), p. 146.
9. Panish, M. B., & Casey, H. C. (1969). Temperature dependence of the energy gap in GaAs and GaP. *Journal of Applied Physics*, 40(1), 163–167.