

## GaAs YORUG‘LIK YUTISH KOEFFITSIENTIGA BOSIMNI TA’SIRI

**Qo‘chqarov Xoshimjon Ortiqovich,**  
Namangan davlat universiteti dotsenti  
**Voxobjonova Xurshidaxon Avazbek qizi**  
Namangan davlat universiteti magistranti  
E-mail: [vokhobjonovakhurshidakhon@gmail.com](mailto:vokhobjonovakhurshidakhon@gmail.com)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18980380>

**Annotatsiya:** Ushbu referatda yarimo‘tkazgich materiallarda yorug‘lik yutish koeffitsiyentiga tashqi bosimning ta’siri nazariy jihatdan tahlil qilinadi. Bosim ta’sirida kristall panjarasi parametrlarining o‘zgarishi natijasida energiya zonalari holati, taqiqlangan zona kengligining o‘zgarishi ko‘rib chiqildi. Yorug‘lik yutilishi jarayonining zonalar tuzilishi bilan bog‘liqligi asosida yutilish koeffitsiyentining foton energiyasiga bog‘liqligi tahlil qilinadi. Bosim ta’sirida energiya zonalarining siljishi to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘tishlar energiyasiga qanday ta’sir ko‘rsatishi nazariy modellar yordamida tushuntirildi. Shuningdek, yutilish spektrining siljishi orqali taqiqlangan zona kengligining bosimga bog‘liqligini aniqlash imkoniyatlari ko‘rsatiladi. Olingan nazariy natijalar yarimo‘tkazgich materiallarning optik xossalari boshqarish hamda optoelektron qurilmalarda qo‘llash nuqtai nazaridan muhim ahamiyatga ega.

**Kalit so‘zlar:** energiya zonalari holati, taqiqlangan zona kengligi, effektiv massa qiymatlari, elektronlarning impuls holati

**Аннотация:** В данном реферате теоретически анализируется влияние внешнего давления на коэффициент поглощения света в полупроводниковых материалах. Рассматривается изменение состояния энергетических зон и ширины запрещённой зоны в результате изменения параметров кристаллической решётки под действием давления. На основе связи процесса поглощения света со структурой зон анализируется зависимость коэффициента поглощения от энергии фотона. С использованием теоретических моделей объясняется, как смещение энергетических зон под воздействием давления влияет на энергию прямых переходов. Также показаны возможности определения зависимости ширины запрещённой зоны от давления по смещению спектра поглощения. Полученные теоретические результаты имеют важное значение для управления оптическими свойствами полупроводниковых материалов и их применения в оптоэлектронных устройствах.

**Ключевые слова:** состояние энергетических зон, ширина запрещённой зоны, значения эффективной массы, импульсные состояния электронов.

**Abstract:** This paper presents a theoretical analysis of the effect of external pressure on the optical absorption coefficient in semiconductor materials. The changes in the energy band structure and in the band gap width caused by variations of the crystal lattice parameters under pressure are examined. Based on the relationship between the optical absorption process and the band structure, the dependence of the absorption coefficient on photon energy is analyzed. Using theoretical models, the influence of pressure-induced band shifts on the energy of direct transitions is explained. The possibility of determining the pressure dependence of the band gap from the shift of the absorption spectrum is also demonstrated. The obtained theoretical results are important for controlling the optical properties of semiconductor materials and for their application in optoelectronic devices.

**Keywords:** energy band structure, band gap width, effective mass values, electron momentum states.

### Kirish

Yarimo‘tkazgich materiallarning optik xossalari zamonaviy elektron va optoelektron qurilmalar ishlash prinsipini belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. Yorug‘lik yutish koeffitsiyenti ushbu xossalarning muhim parametrlaridan bo‘lib, u moddaning elektromagnit nurlanish bilan o‘zaro ta’sirini tavsiflaydi [1].

Yorug‘lik yutilishi jarayoni asosan elektronlarning valentlik zonasidan o‘tkazuvchanlik zonasiga o‘tishi bilan bog‘liq. Bu o‘tishlar energiya zonalari tuzilishi, ruxsat etilgan energetik sathlar hamda kristall panjaraning xususiyatlariga bevosita bog‘liq bo‘ladi. Shuning uchun yutish koeffitsiyentining qiymati materialning zonalar tuzilishi haqida muhim ma’lumot beradi.

## “Ilmiy tadqiqotlarni amaliyotga joriy qilishning muammo va yechimlari” mavzusidagi onlayn xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallar to‘plami. NamDU - 2026-yil 20-21-fevral

Tashqi bosim yarimo‘tkazgichning kristall panjarasi parametrlarini o‘zgartiradi. Bu esa quyidagi fizik kattaliklarning o‘zgarishiga olib keladi: energiya zonalar holati, taqiqlangan zona kengligi, effektiv massa qiymatlari, elektronlarning impuls holati. Natijada elektron o‘tish ehtimoli o‘zgaradi va bu holat yorug‘lik yutish koeffitsiyentida namoyon bo‘ladi [2].

Bosim ta‘sirida zonalar tuzilishining deformatsiyalanishi to‘g‘ridan-to‘g‘ri va bilvosita o‘tishlar energiyasiga ta‘sir ko‘rsatadi. Shu sababli yutilish spektrining siljishi kuzatiladi [3]. Bu siljish orqali taqiqlangan zona kengligining bosimga bog‘liqligini aniqlash mumkin.

Nazariy tahlil bosim ta‘sirida elektron energiya spektrining o‘zgarishini modellashtirishga imkon beradi. Bu esa yorug‘lik yutilish jarayonining asosiy mexanizmlarini chuqurroq tushunishga yordam beradi.

### Adabiyotlar tahlili.

Gidrostatik bosim barcha atomlarni bir-biriga yaqinlashtiradi. Atomlararo masofa kichrayganda energiyaning taqiqlangan zonasi kengayadi. (Biroq ayrim materiallarda, masalan, Te va PbSe da, atomlararo masofa kamayishi — ya‘ni bosim ortishi — bilan taqiqlangan zona aksincha kamayadi.) Panjara doimiysidagi kichik o‘zgarish  $\Delta a$  uchun energiya darajasi  $E$  ning  $\Delta a$  ga chiziqli ravishda bog‘liq deb qabul qilish mumkin:

$$E = E_0 + E_1 \Delta a \quad (1)$$

bu yerda  $E_0$  — nol bosimdagi ko‘rib chiqilayotgan sathning energiyasi,  $E_1$  esa koeffitsiyent bo‘lib, u turli sathlar uchun odatda turlicha bo‘ladi. Shunday qilib, taqiqlangan zonaning bosimga bog‘liqligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\Delta E_g = (E_{1c} - E_{1v}) \Delta a \quad (2)$$

bu yerda  $E_{1c}$  va  $E_{1v}$  mos ravishda o‘tkazuvchanlik zonasi va valentlik zonasi chekkalari uchun bosim koeffitsiyentlaridir. Turli energiya minimumlari uchun koeffitsiyentlar har xil bo‘ladi (ba‘zilari musbat, ba‘zilari manfiy). Shu sababli, yetarlicha katta deformatsiyalar (bosimlar) ostida yarimo‘tkazgich to‘g‘ridan-to‘g‘ri zonalar oralig‘iga ega (direct-gap) materialdan bilvosita zonalar oralig‘iga ega (indirect-gap) materialga aylanishi mumkin (yoki aksincha). Shuni ta‘kidlash kerakki, ko‘plab III–V guruh birikmalari va germaniy uchun to‘g‘ridan-to‘g‘ri taqiqlangan zonaning ( $\Gamma$  nuqtadagi) bosimga bog‘liqligi o‘xshashdir. Har bir energiya minimumi uchun bosimga bog‘liqlikning tezligi va ishorasi turlicha bo‘lgani sababli, yetarlicha yuqori bosimlarda taqiqlangan zona maksimum yoki minimum qiymatdan o‘tishi mumkin. Masalan, germaniyda taqiqlangan zona 50 kilobar bosimda maksimum qiymatga ega bo‘ladi [4-6].

Bu holatning fizik mazmuni shundan iboratki, germaniy kristallida o‘tkazuvchanlik zonasining minimumlari turli kristallografik yo‘nalishlarda joylashgan bo‘lib, ular bosim ta‘siriga bir xil tarzda javob bermaydi. Hidrostatik bosim qo‘llanganda panjara doimiysi kamayadi va atomlararo masofa qisqaradi, natijada turli minimumlarga mos keluvchi energiya holatlarining siljish tezligi va yo‘nalishi bir-biridan farq qiladi. Xususan,  $\langle 111 \rangle$  yo‘nalishlarida joylashgan o‘tkazuvchanlik zonasi minimumlari bosim ortishi bilan yuqoriroq energiyalarga siljiydi, ya‘ni ularning energiyasi oshadi. Aksincha,  $\langle 100 \rangle$  yo‘nalishlariga mos keluvchi minimumlar bosim ta‘sirida pastroq energiyalarga siljiydi, ya‘ni ularning energiyasi kamayadi. Shu sababli bosim oshib borgani sari bu ikki minimumlar to‘plami orasidagi energiya farqi kamayib boradi [7]. Taxminan 50 kilobar bosimda esa  $\langle 111 \rangle$  va  $\langle 100 \rangle$  yo‘nalishlariga tegishli minimumlarning eng past nuqtalari bir xil energiya, ya‘ni bir xil potensial qiymatga ega bo‘ladi. Aynan shu nuqtada energiya bo‘shlig‘i maksimal qiymatdan o‘tadi, chunki undan keyin energiya bo‘shlig‘ini belgilovchi eng past o‘tkazuvchanlik holati bir minimumlar to‘plamidan boshqasiga o‘tadi.

GaAs kristallida o‘tkazuvchanlik zonasining eng past energiyali holati boshlang‘ich sharoitda to‘g‘ridan-to‘g‘ri minimum, ya‘ni  $\Gamma$ -nuqtada joylashgan minimum hisoblanadi. Hidrostatik bosim qo‘llanganda kristall panjarasi siqiladi va bu siqilish o‘tkazuvchanlik zonasidagi turli minimumlarga turlicha ta‘sir ko‘rsatadi. Xususan,  $\Gamma$ -minimumga mos keluvchi energiya darajasi bosim ortishi bilan bilvosita minimumga nisbatan tezroq yuqori energiyalarga siljiydi. Natijada bosim oshib borgani sari bu ikki minimum orasidagi energiya farqi kamayadi va ma‘lum bir bosim qiymatida ular bir xil energiyaga ega bo‘ladi. Shu nuqtadan keyin esa bilvosita minimum energiya jihatidan pastroq holatga aylanadi va materialning asosiy energiya bo‘shlig‘i to‘g‘ridan-to‘g‘ri emas, balki bilvosita xarakter kasb etadi [8,9].

Minimumlarning o‘zaro kesishishi elektronlarning dinamik xossalariga sezilarli ta‘sir ko‘rsatadi. Elektronlar eng past energiyali holatga o‘tganligi sababli, ularning samarali massasi o‘zgaradi, bu esa elektronlarning harakatchanligining keskin kamayishiga olib keladi. Bundan tashqari, bilvosita bo‘shliqli holatda elektron–kovak juftining impuls saqlanishi sharti fonon ishtirokini talab qilganligi sababli, nurlanishli rekombinatsiya jarayoni ancha samarasiz bo‘lib qoladi.

## “Ilmiy tadqiqotlarni amaliyotga joriy qilishning muammo va yechimlari” mavzusidagi onlayn xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallar to‘plami. NamDU - 2026-yil 20-21-fevral

Gidrostatik bosimning erkin eksitonlar va eksiton molekularining bog‘lanish energiyasiga bevosita ta’siri odatda kichik bo‘ladi, chunki bu energiya asosan materialning dielektrik doimiysi bilan belgilanadi va uning deformatsiyaga bog‘liqligi nisbatan sustdir. Biroq bosim ta’sirida o‘tkazuvchanlik zonasidagi minimumlar o‘zaro kesishganda, eng past energiyali holatlarga mos keluvchi samarali massa keskin o‘zgaradi. Samarali massaning bunday o‘zgarishi eksitonning bog‘lanish energiyasiga ham bevosita ta’sir qilib, uning qiymatining bosim bilan sezilarli darajada o‘zgarishiga sabab bo‘ladi.

### Tadqiqot metodologiyasi

Yarimo‘tkazgichlarda asosiy yutilish jarayoni elektronlarning valentlik zonasidan o‘tkazuvchanlik zonasiga o‘tishi bilan yuz beradi. Elektron va kovakning bog‘langan holati bo‘lgan eksitonlarning hosil bo‘lishi ham shu turdagi yutilishga kiradi.

Bu o‘tishlar energetik jihatdan sodda va to‘g‘ridan-to‘g‘ri bo‘lib, yutilish spektrida keskin ortish ko‘rinishida kuzatiladi. Shu sababli asosiy yutilish hodisasidan foydalanib taqiqlangan zona kengligini aniqlash mumkin.

Asosiy yutilish jarayonlari tanlov qoidalariga amal qiladi. Ayrim elektron o‘tishlari ushbu qoidalar tufayli taqiqlanadi yoki sezilarli darajada sustlashadi. Natijada yutilish chekkasi orqali taqiqlangan zonani aniqlash bevosita amalga oshirilmaydi. Bu jarayonda quyidagi qo‘shimcha mexanizmlarni ham hisobga olish zarur: aralashma sathlari bilan bog‘liq o‘tishlar, subzonalar orasidagi o‘tishlar

Foton impulsi bilan bog‘liq omillar ham yutilish jarayoniga ta’sir qiladi. Foton impulsi  $p = h/\lambda$  qiymati juda kichik bo‘ladi, chunki yorug‘lik to‘lqin uzunligi  $\lambda$  minglab angstrumlarga teng. Bu qiymat kristall panjarasi doimiysi  $a$  orqali ifodalangan elektron impulsi  $h/a$  ga nisbatan ancha kichikdir. Shu sababli yutilish jarayonida elektron impulsi deyarli o‘zgarmaydi va impulsning saqlanish qonuni bajariladi.

Yutilish koeffitsiyenti  $\alpha(h\nu)$  quyidagi omillarga bog‘liq:  $P_{if}$  — elektronning boshlang‘ich holatdan yakuniy holatga o‘tish ehtimoli,  $n_i$  — boshlang‘ich holatdagi elektronlar zichligi,  $n_f$  — yakuniy holatdagi bo‘sh sathlar zichligi. Boshlang‘ich holatda elektronlar soni ko‘p bo‘lsa, o‘tish ehtimoli ortadi. Yakuniy holatda bo‘sh sathlar soni katta bo‘lsa, o‘tish jarayoni osonlashadi. Natijada yutilish koeffitsiyenti  $h\nu$  energiya farqi bilan ajralgan barcha mumkin bo‘lgan o‘tishlar bo‘yicha yig‘indi sifatida ifodalanadi:

$$\alpha(h\nu) = A \sum P_{if} n_i n_f \quad (3)$$

Soddalashtirish uchun ko‘pincha barcha pastki energiya sathlari to‘ldirilgan va yuqori energiya sathlari bo‘sh deb qabul qilinadi. Bu shart 0 K haroratda legirlanmagan yarimo‘tkazgichlar uchun o‘rinli hisoblanadi. Bunday holda yutilish jarayoni faqat elektronlarning past energiyali holatlardan yuqori energiyali holatlarga o‘tishi bilan tavsiflanadi va boshqa murakkab omillar e’tiborga olinmaydi.

### NATIJALAR VA ULARNING TAHLILI

#### GaAs taqiqlangan sohasiga haroratni ta’siri

Demak (2) ga ko‘ra taqiqlangan soha bosim ta’sirida quyidagicha chiziqli o‘zgaradi deb olishimiz mumkin:

$$E_g(P) = E_g(0) + \Delta E_g = E_g(0) + (E_{1c} - E_{1v})\Delta a \quad (4)$$

$E_{1c}$  va  $E_{1v}$  konstantalar bo‘lgani uchun  $E_{1c} + E_{1v} \sim \alpha$  ( $\alpha = \text{const}$ ) va  $\Delta a$  ni esa  $P$  ( $P$ -bosim) ga to‘g‘ri proporsional deb olsak (3) formulani quyidagicha yozishimiz mumkin bo‘ladi:

$$E_g(P) = E_g(0) + \alpha P = E_g(0) + \frac{dE_g}{dP} P \quad (5)$$

GaAs uchun  $\frac{dE_g}{dP}$  ni quyidagicha hisoblaymiz:

$$\frac{dE_g}{dP} = \frac{dE_c}{dP} - \frac{dE_v}{dP} \quad (6)$$

Gidrostatik deformatsiya  $\varepsilon_h = \frac{\Delta V}{V}$ , Bosim bilan bog‘lanishi  $\varepsilon_h = -\frac{P}{B}$  bilan ifodalanadi. O‘tkazuvchanlik va valent zona chetlarining siljishi esa mos ravishda:

$$\Delta E_c = a_c \varepsilon_h \text{ va } \Delta E_v = a_v \varepsilon_h \quad (7)$$

(7) tenglamadan bosim bo‘yicha birinchi tartibli hosila olamiz:

$$\frac{dE_c}{dP} = a_c \frac{d\varepsilon_h}{dP} = a_c \frac{d\left(-\frac{P}{B}\right)}{dP} = a_c \left(-\frac{1}{B}\right) \\ \frac{dE_c}{dP} = -\frac{a_c}{B} \quad (8)$$

Huddi shunday qilib valent zona maksimumining siljishi uchun bajaramiz:

$$\frac{dE_v}{dP} = a_v \frac{d\varepsilon_h}{dP} = a_v \frac{d\left(-\frac{P}{B}\right)}{dP} = a_v \left(-\frac{1}{B}\right)$$

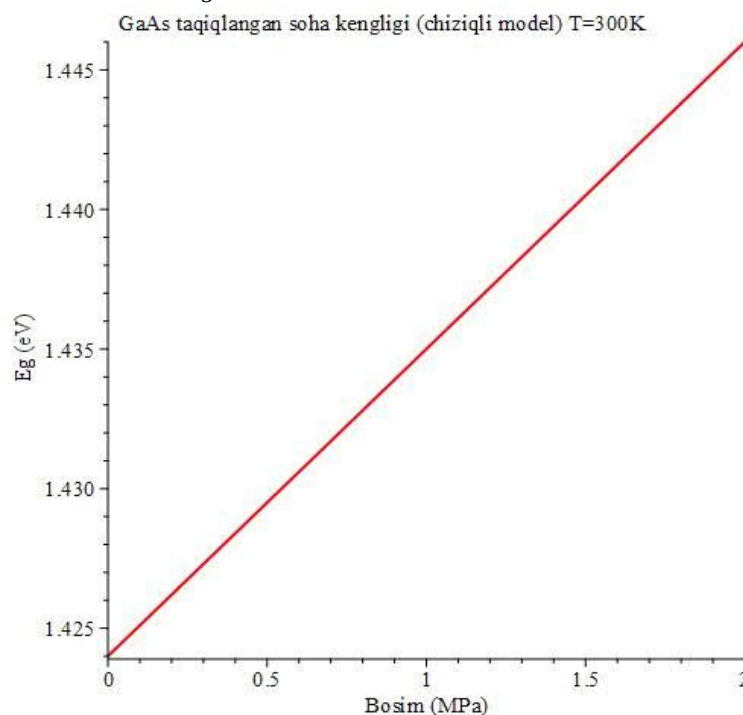
$$\frac{dE_v}{dP} = -\frac{a_v}{B} \quad (9)$$

(8) va (9) tenglamalarni (6) ga qo‘yamiz:

$$\frac{dE_g}{dP} = -\frac{a_c}{B} - \left(-\frac{a_v}{B}\right) = -\frac{1}{B}(a_c - a_v) \quad (10)$$

GaAs uchun  $B \approx 75 \text{ GPa}$ ,  $a_c \approx -7.17 \text{ eV}$  va  $a_v \approx 1.16 \text{ eV}$  teng deb olsak,  $\frac{dE_g}{dP} \approx 0.11 \text{ eV/GPa}$ . (5) tenglamaga binoan GaAs ning taqiqlangan soha kengligini bosimga bog‘liq holda o‘zgarishi quyidagicha bo‘ladi (1-rasm):

$$E_g(P) = 1.5216 + 0.11P \quad (11)$$



1-Rasm. GaAs taqiqlangan energiya sohasining bosimga bog‘liqligi (T=300K). Yuqori bosimlarda noaniqlikni inobatga olish zarur [10].

#### GaAs yorug‘lik yutish koeffitsientiga bosimni ta’siri

GaAs da bevosita o‘tish sodir bo‘lgani uchun, yorug‘lik yutish koeffitsienti quyidagicha aniqlanadi:

$$\alpha(h\nu) = A(h\nu - E_g(P))^n \quad (12)$$

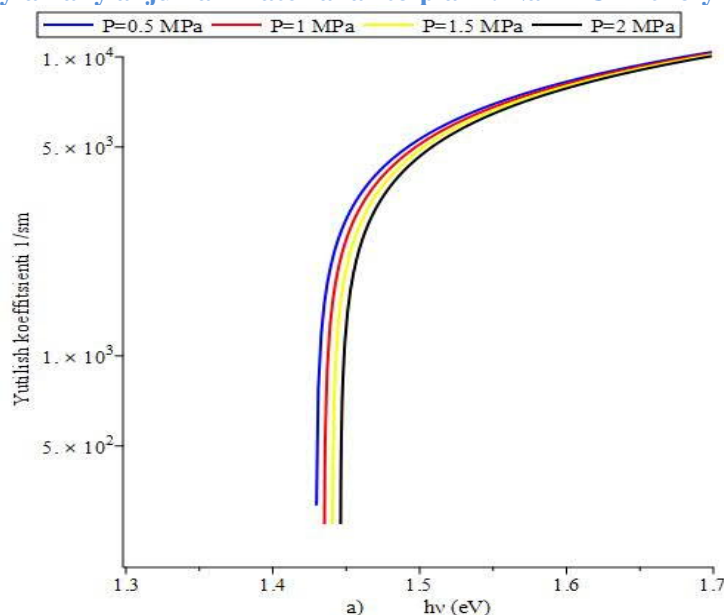
bu yerda  $A$  quyidagicha berilgan [8]:

$$A \approx \frac{q^2 \left(2 \frac{m_e^* m_h^*}{m_e^* + m_h^*}\right)^{3/2}}{nch^2 m_e^*} \quad (13)$$

sinish ko‘rsatkichi  $n=1/2$  deb olinib va kovak hamda elektronning effektiv massalari erkin elektron massasiga teng deb faraz qilinganda, quyidagi natija olinadi.

$$\alpha(h\nu) \approx 2 * 10^4 (h\nu - E_g)^{1/2} \text{ sm}^{-1} \quad (14)$$

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



2-Rasm. 4 xil qiymat bosim ostidagi GaAs yorug‘lik yutilish koeffitsiyentiga foton energiyasining bog‘liqligi ( $T=300K$ ).

#### Xulosa

Tashqi bosim yarimo‘tkazgich kristall panjarasining siqilishiga olib keladi va bu holat materialning energiya zonalarini tuzilishiga bevosita ta‘sir ko‘rsatadi. Panjara parametrlarining o‘zgarishi natijasida taqiqlangan zona kengligi, zonalar minimumlarining joylashuvi hamda elektronlarning effektiv massa qiymatlari o‘zgaradi. Bu esa elektron o‘tish ehtimolining qayta taqsimlanishiga sabab bo‘ladi.

Mazkur o‘zgarishlar yorug‘lik yutilish koeffitsiyentida aks etadi. Xususan, to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘tishli yarimo‘tkazgichlarda yutilish chekkasining energiya o‘qi bo‘yicha siljishi kuzatiladi. Bilvosita o‘tishli materiallarda esa fonon ishtirokidagi o‘tish jarayonlarining energiyasi ham bosim ta‘sirida o‘zgaradi.

Nazariy tahlillar shuni ko‘rsatadiki, yutilish spektrining siljishi orqali taqiqlangan zona kengligining bosimga bog‘liqligini aniqlash mumkin. Shu sababli bosim yarimo‘tkazgich materiallarning optik xossalarni boshqarishda muhim fizik omillardan biri hisoblanadi.

#### 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. O. Madelung, Physics of III–V Compounds, Wiley (1964).
5. S. H. Groves and W. Paul, Phys Rev. Letters 11, 194 (1963).
6. A. L. Edwards and H. G. Drickamer, Phys. Rev. 122, 1149 (1961).
7. V. M. Asnin and A. A. Rogatchev, Soviet Phys.-Solid State 5, 1730 (1963).
8. N. Holonyak Jr., M. R. Johnson and J.A. Rossi, Applied Phys. Letters 12, 151 (1968).
9. 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.
10. W. Paul and H. Brooks, Phys. Rev. 94, 1128 (1954).