

Nuriddinova Mashhuraxon Anvarbekovna

Namangan davlat texnika universiteti,

e-mail: sirius-73@mail.ru

UO'K 537.311.322

**AMORF YARIMO'TKAZGICHLARDA LOKALLASHGAN ELEKTRON
HOLATLARI ZICHLIGINI FUNDAMENTAL OPTIK YUTILISH
SPEKTRLARIGA TA'SIRI**

Annotatsiya: Amorf yarimo'tkazgichlarda zonalararo yutilish koeffitsiyenti spektrlari Devis-Mott yaqinlashish usuliga ko'ra Kubo-Grinvud formulasidan foydalanilgan xolda hisoblandi va nazariy tahlil qilindi. Optik yutilish koeffitsiyenti spektrlarini ruxsat etilgan zonalar chegarasidagi elektron holatlari zichligi taqsimotiga bog'liqligi aniqlandi.

Kalit so'zlar: amorf yarimo'tkazgich, optik yutilish koeffitsiyenti, ruxsat etilgan zonalar, fundamental yutilish sohasi, ruxsat etilgan zona dumlari.

Нуриддинова Машхурахон Анварбековна

Наманганский государственный технический университет

**ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ
СОСТОЯНИЙ В АМОРФНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ НА
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ**

Аннотация: Спектры межзонного поглощения в аморфных полупроводниках были рассчитаны и теоретически проанализированы с использованием формулы Кубо-Гринвуда в приближении Дэвиса-Мотта. Определена зависимость спектров коэффициента оптического поглощения от распределения плотности электронных состояний на границах разрешенных зон.

Ключевые слова: аморфный полупроводник, коэффициент оптического поглощения, разрешенные зоны, область фундаментального поглощения, хвосты разрешенных зон.

Nuriddinova Mashkhurakhon Anvarbekovna
Namangan State Technical University

INFLUENCE OF THE DENSITY OF LOCALIZED ELECTRONIC STATES IN AMORPHOUS SEMICONDUCTORS ON THE FUNDAMENTAL OPTICAL ABSORPTION SPECTRA

Abstract: The interband absorption coefficient spectra in amorphous semiconductors were calculated and theoretically analyzed using the Kubo-Greenwood formula according to the Davis-Mott approximation. The dependence of the optical absorption coefficient spectra on the distribution of the density of electronic states at the edges of the allowed bands was determined.

Keywords: amorphous semiconductor, optical absorption coefficient, allowed bands, fundamental absorption region, allowed band tails.

Kirish. Ma'lumki, amorf yarimo'tkazgichlarning optik yutilish koeffitsiyentining spektral xarakteristikasi yutilgan fotonlarning energiyasiga mos ravishda bir necha sohaga bo'lib o'rganiladi. Bu sohalarining har biri elektronlarning turli mexanizmlar orqali energiya almashinishini aks ettiradi. Ana shu sohalaridan biri - bu fundamental yutilish chegarasi sohasidir. Bu sohada elektronlarning optik o'tishlari, asosan, valent zonasining yuqori chegaralari va o'tkazuvchanlik zonasining pastki chegaralari orasida amalga oshiriladi [1]. Boshqacha qilib aytganda, yutilishning bu qismi materialning harakatchanlik tirqishining energetik kengligi energiyasini (E_g) bevosita belgilab beruvchi zonalararo o'tishlar bilan bog'liqdir. Fotonning energiyasi (E_g)ga yaqinlashgan sari yutilish koeffitsiyenti eksponensial ravishda tez ortib boradi, chunki bu o'tishlar uchun elektron holatlari zichligi maksimal darajada bo'ladi. Amorf

yarimo'tkazgichlarning tartibsiz tuzilishi tufayli, bu sohada nafaqat vertikal, balki novertikal o'tishlar ham ro'y beradi. Yutilish koeffitsiyenti bevosita valent va o'tkazuvchanlik zonalaridagi elektron holatlar zichligi ($(g_v(\epsilon))$ va $g_c(\epsilon)$) taqsimotining shakliga bog'liq bo'ladi, chunki o'tishlar faqat shu holatlarga amalga oshirilishi mumkin.

Shunday qilib, fundamental yutilish chegarasi sohasini tadqiq etish, nokristall materiallarning elektron strukturasini, jumladan harakatchanlik tirqishining energetik kengligi qiymatini va o'tish mexanizmlarining tartibsizlik darajasiga bog'liqligini aniqlash uchun muhim ahamiyat kasb etadi

Ko'plab nazariy va eksperimental ishlarda, shu jumladan [2] manbada ham, nokristall yarimo'tkazgichlarda ruxsat etilgan zonalarining chetlaridagi elektron holatlarining zichligini taqsimoti oddiy eksponensial bog'lanishdan farqli o'laroq, darajali bog'lanishga ega bo'lishi ko'rsatilgan. Bunday darajali bog'lanish elektron holatlarining zichligini energiyaga nisbatan quyidagicha ifodalaydi: o'tkazuvchanlik zonasi tubi yaqinida

$$g(\epsilon) = \text{const}(\epsilon - \epsilon_A)^s \quad (1)$$

valent zona yuqorisi (shipi) yaqinida

$$g(\epsilon) = \text{const}(\epsilon_B - \epsilon)^p \quad (2)$$

bu yerda p va s lar $\frac{1}{2}$ va 1 qiymatlarini olishlari mumkin [3]. Quyidagi

$$y = \frac{\epsilon_A - \hbar\omega - \epsilon}{\epsilon_A - \hbar\omega - \epsilon_B} \quad (3)$$

ko'rinishdagi belgilash kiritib, optik yutilish koeffitsiyentining fundamental yutilish sohasi chegarasi uchun quyidagi ifoda olingan:

$$\alpha(\hbar\omega) = A \left\{ \int_0^1 (1-y)^p y^s dy \right\} \frac{(\hbar\omega - E_g)^{p+s+1}}{\hbar\omega} \quad (4)$$

bu yerda E_g -harakatchanlik tirqishining energetik kengligi. $A=2,5 \cdot 10^5 \text{ sm}^{-1}$ ga teng bo'lishi va bu integralni quyidagi ifoda bilan aniqlanishi [4] ishda ko'rsatilgan:

$$\int_0^1 (1-y)^p y^s dy = \frac{\Gamma(s+1)\Gamma(p+1)}{\Gamma(s+p+2)} \quad (5)$$

Ammo, gamma funksiyadagi s va p larning qiymati $s \neq -1$ $p \neq -1$ teng bo'lganda (5) ni hisoblash murakkab masala hisoblanadi. Shuning uchun, (5) dagi integralning analitik ko'rinishini darajalarning aniq qiymatlarida (ayniqsa yarim-butun sonlarda) Gamma-funksiyani hisobga olmasdan keltirib chiqarish mumkinligiga e'tibor qaratildi. Daraja ko'rsatgichlarini hisobga olib (4) ifodadagi integralni hisoblashlardan quyidagi ifodalar olindi:

$p = 1/2$ va $s = 1/2$ bo'lganda

$$\int_0^1 (1-y)^{1/2} y^{1/2} dy = \left(\frac{(2y-1)\sqrt{y-y^2}}{4} - \frac{1}{8} \arcsin(1-2y) \right) \Big|_0^1 = \frac{\pi}{8} \quad (6)$$

$p = 1$ va $s = 1/2$ bo'lganda

$$\int_0^1 (1-y)^1 y^{1/2} dy = -\frac{4}{15} \sqrt{(1-y)^5} \Big|_0^1 = \frac{4}{15} \quad (7)$$

$p = 1$ va $s = 1$ bo'lganda

$$\int_0^1 (1-y)^1 y^1 dy = \left(\frac{y^2}{2} - \frac{y^3}{3} \right) \Big|_0^1 = \frac{1}{6} \quad (8)$$

(6)-(8) analitik natijalar va (4) umumiy ifodadan foydalanib, fundamental yutilish chegarasi sohasidagi spektrlari uchun quyidagi asosiy bog'lanishlarga ega bo'lamiz:

$$p = 1/2 \text{ va } s = 1/2 \text{ bo'lganda} \quad \alpha(\hbar\omega) \hbar\omega = A \frac{\pi}{8} (\hbar\omega - E_g)^2, \quad (9)$$

$$p = 1 \text{ va } s = 1/2 \text{ bo'lganda} \quad \alpha(\hbar\omega) \hbar\omega = A \frac{4}{15} (\hbar\omega - E_g)^{5/2}, \quad (10)$$

$$p = 1 \text{ va } s = 1 \text{ bo'lganda} \quad \alpha(\hbar\omega) \hbar\omega = A \frac{1}{6} (\hbar\omega - E_g)^3, \quad (11)$$

Yuqorida keltirilgan (9), (10), va (11) formulalarga asosan topilgan optik yutilish koeffitsientining fundamental yutilish sohasi chegarasi uchun olingan spektrlar 1-rasmda tasvirlangan. Hisoblashlar, taqiqlangan zonaning energetik kengligi ($E_g = 1.8$ eV) ga teng bo'lgan hol uchun bajarilgan. Bu qiymat, odatda, yuqori sifatli gidrogenlangan amorf kremniy ($a\text{-Si:H}$) yoki boshqa keng taqiqlangan zonali amorf materiallarga mos keladi. Bu spektrlarni hisoblashda,

yutilish koeffisientini tajribalarda o'lchash usuliga asoslangan holda, reper nuqta sifatida quyidagi shart tanlab olingan:

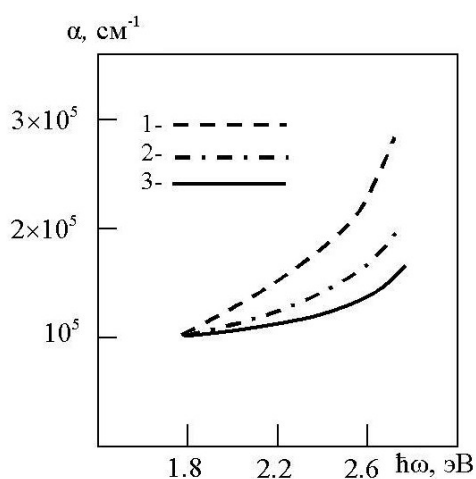
$$\hbar\omega = E_g \text{ bo'lganda } \alpha(\hbar\omega) = 10^5 \text{ sm}^{-1} \text{ ga teng bo'lsin.}$$

Bu qiymat, odatda, $a\text{-Si:H}$ da Taus sohasi boshlanishi uchun xarakterli bo'lib, zonalararo to'g'ri o'tishlarning ustunlik qila boshlaganligini anglatadi. Reper nuqtaning bunday tanlanishi nazariy natijalarni tajribaviy o'lchovlar bilan solishtirish uchun qulaylik yaratadi.

Tajriba natijalari ko'pchilik kristall bo'lmagan yarimo'tkazgichlarning fundamental yutilish sohasi chegarasidagi spektrlari qavariq ekanligini, ya'ni $\alpha(\hbar\omega)$ egri chizig'ining ikkinchi hosilasi manfiy bo'lishini ko'rsatadi. Shuningdek, tajribadan olingan natijalar uning qiymati elektron holatlari zichligi taqsimoti darajasi ortishi bilan (ya'ni, $p+s$ yig'indisi o'sishi bilan) oshib borishi kerakligini ko'rsatadi..

Biroq, 1-rasmdan ko'rinishicha, yuqoridagi spektrlar uchun bu ikki asosiy shart bajarilmasligi yaqqol namoyon bo'ladi:

Bu holat shundan dalolat beradiki, (4) formulani (ya'ni $\alpha(\hbar\omega)$ uchun umumiy ifodani) chiqarishda qabul qilingan shartlar va soddalashtirishlar (xususan, matrisa



Rasm-1. Fundamental yutilish koeffisienti spektral xarakteristikalar.

1 - (9), 2 - (10), 3 - (11) formulalardan olingan.

elementining energiyadan mustaqil deb olinishi) yetarlicha to'g'ri bo'lmagan yoki nokristall materiallarning o'ziga xos xususiyatlarini to'liq aks ettirmagan

Natijalar va ularning tahlili.

Ma'lumki, amorf yarimo'tkazgichlar uchun yutilgan fotonlarning energiyasi harakatchanlik tirqishining energetik kengligidan katta bo'lganda, bir vaqtning o'zida kuzatiladigan elektronlarning optik o'tishlari uch xil tur orqali amalga oshadi.

Bu, amorf materiallarning zona chetlaridagi lokallashgan va lokallashmagan holatlarning bir vaqtda ishtirok etishi

bilan bog'liq. Ushbu murakkab jarayonni aniq hisoblash uchun, [3] ishda Devis-Mott yaqinlashish usuliga asoslangan holda Kubo-Grinvud formulasidan foydalanilgan. Yuqoridagi uchta o'tish turlarini lohida hisobga olish maqsadida, yutilish koeffitsientini hisoblash uchun ushbu formula mos ravishda uch qismga ajratilgan:

$$\alpha = A \int_{\varepsilon_0 - \hbar\omega}^{\varepsilon_0} g(\varepsilon)g(\varepsilon + \hbar\omega) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} = A \int_{\varepsilon_C - \hbar\omega}^{\varepsilon_0} g(\varepsilon)g(\varepsilon + \hbar\omega) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} + A \int_{\varepsilon_V}^{\varepsilon_C - \hbar\omega} g(\varepsilon)g(\varepsilon + \hbar\omega) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} + A \int_{\varepsilon_0 - \hbar\omega}^{\varepsilon_V} g(\varepsilon)g(\varepsilon + \hbar\omega) \frac{d\varepsilon}{\hbar\omega} = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3, \quad (12)$$

bu yerda $g(\varepsilon)$ va $g(\varepsilon + \hbar\omega)$ – mos ravishda, $\hbar\omega$ energiyali fotonlar yutilganda optik o'tishda ishtirok etuvchi elektronlarni boshlang'ich va oxirgi holati zichliklarining taqsimotlari, ya'ni valent va o'tkazuvchanlik zonasidagi elektron holatlari zichligining taqsimotlari, ε_0 - esa valent va o'tkazuvchanlik zonalari dumlarining kesishish nuqtasining energetik vaziyati

(12) formuladagi birinchi had, elektronni valent zona dumidan o'tkazuvchanlik zonasiga, ikkinchi had zonalararo va uchinchi had esa valent zonadan o'tkazuvchanlik zonasi dumiga optik o'tishlari bilan aniqlanadigan parsial yutilish koeffitsiyentlari spektrlari.

Ruxsat etilgan zonalarning dumlaridagi elektron holatlarining zichligining taqsimoti eksponensial bog'lanishga ega bo'lishi [3] ishda ko'rsatilgan. Shuning uchun ularni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

valent zona uchun

$$\varepsilon < \varepsilon_V, \quad \text{bo'lganda} \quad g(\varepsilon) = N(\varepsilon_V) \left(\frac{\varepsilon_C - \varepsilon}{E_g} \right)^s, \quad (13)$$

$$\varepsilon_C < \varepsilon, \quad \text{bo'lganda} \quad g(\varepsilon) = N(\varepsilon_C) \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_V}{E_g} \right)^p, \quad (14)$$

valent zona uchun

$$\varepsilon_V < \varepsilon < \varepsilon_0, \quad \text{bo'lganda} \quad g(\varepsilon) = N(\varepsilon_V) \exp(-\beta_1(\varepsilon - \varepsilon_V)), \quad (15)$$

o'tkazuvchanlik zona uchun

$$\varepsilon_0 < \varepsilon < \varepsilon_C \quad \text{bo'lganda} \quad g(\varepsilon) = N(\varepsilon_C) \exp(\beta_2(\varepsilon - \varepsilon_C)), \quad (16)$$

bu yerda $N(\varepsilon_V)$ va $N(\varepsilon_C)$ mos ravishda valent zona va o'tkazuvchanlik zonalaridagi holatlar zichligining effektiv qiymatlari, β_1 va β_2 - mos ravishda valent va o'tkazuvchanlik zonalarini dumlarining egriligini aniqlovchi parametrlar.

(13) va (14) ni inobatga olgan holda zonalararo optik o'tishlar uchun (12) dan quyidagiga ega bo'lamiz:

$p=1/2$ va $s=1/2$ uchun

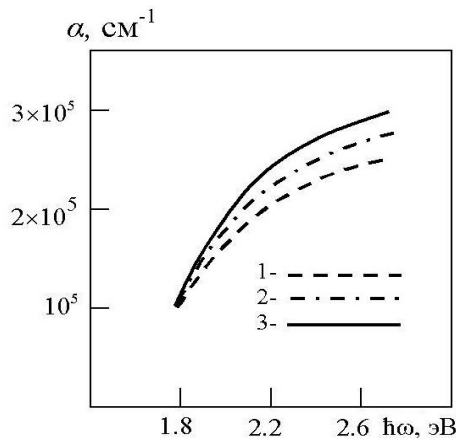
$$\alpha_2 = \frac{A}{4E_g\hbar\omega} \left(2(\hbar\omega - E_g) \sqrt{E_g\hbar\omega} - (E_g + \hbar\omega)^2 \arctg \left(\frac{E_g - \hbar\omega}{\sqrt{4E_g\hbar\omega}} \right) \right) \quad (17)$$

$p=1$ va $s=1/2$ yoki $p=1/2$ va $s=1$ uchun

$$\alpha_2 = \frac{2A}{15\sqrt{E_g^3\hbar\omega}} \left(5(E_g + \hbar\omega) \left(\sqrt{\hbar^3\omega^3} - \sqrt{E_g^3} \right) - 3 \left(\sqrt{\hbar^5\omega^5} - \sqrt{E_g^5} \right) \right) \quad (18)$$

Agar $p=1$ va $s=1$ bo'lsa,

$$\alpha_2 = \frac{A}{6E_g^2\hbar\omega} (\hbar\omega - E_g) (E_g^2 + 4\hbar\omega E_g + \hbar^2\omega^2) \quad (19)$$



Rasm-2. Fundamental yutilish ko'ffisienti spektral xarakteristikalarini
1 - (17), 2 - (18), 3 - (19)
формулалардан олинган

ekan.

2-rasmda (17)-(19) formulalarga asosanib hisoblangan yutilish ko'ffisienti spektral xarakteristikalarini tasvirlangan. Bu modellashtirish,

Xulosa. Yuqoridagi tahlillar, xususan Kubo-Grinvud formulasining uch parsial hadga ajratilgan ko'rinishidagi ifodalardan ko'rindiki, optik yutilish ko'ffisientining spektral xarakteristikalarini ruxsat etilgan zonalaridagi holatlar zichligining ko'rinishiga (ya'ni, p va s daraja ko'rsatkichlariga) kuchli bog'liq bo'lar

avvalgi Taus yaqinlashishi asosidagi (1-rasmdagi) modelning kamchiliklarini bartaraf etganini ko'rsatadi:

1. *Spektrlarning qavariqligi tasdiqlandi:* Ko'rinib turibdiki, barcha yangi hisoblangan spektrlar qavariq shaklga ega. Bu natija, nokristall yarimo'tkazgichlarning fundamental yutilish sohasi chegarasidagi spektrlari qavariq bo'lishi kerakligi haqidagi tajribaviy talablarga to'liq mos keladi.
2. *Darajaga bog'liqlik tasdiqlandi:* p va s daraja ko'rsatkichlarining qiymatlari oshishi bilan spektral xarakteristika yuqoriga ko'tarilmoqda ya'ni, yutilish koeffisienti o'smoqda. Bu, elektron holatlari zichligidagi darajaning ortishi yutilish ehtimolini oshirishi haqidagi fizik intuitsiya va tajribaviy kuzatuvlarga mos keladi.

Olingan natijalarga muvofiq, kristall bo'lmagan yarimo'tkazgichlarning fundamental yutilish sohasi chegarasidagi spektrlarni aniq va ishonchli hisoblashda Kubo-Grinvud formulasidan foydalanish zarurligi kelib chiqadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. M. Brodskiy. Amorf yarimo'tkazgichlar (Moskva, Mir, 1982).419 bet
2. Н. Мотт, Э. Дэвис. Электронные процессы в некристаллических веществах (Москва, Мир, 1982).368 ст
3. С. Зайнобидинов, Р.Г. Икрамов, Р.М. Жалалов, М.А. Нуридинова, Оптика и спектроскопия **110 бет**, № 5, 813 (2011).
4. С. Зайнобидинов, Р.Г. Икрамов, Р.М. Жалалов, Журнал прикладной спектроскопии **78 бет**, № 2, 243 (2011).