

OLMOSSIMON SIMMETRIYALI YARIM O'TKAZGICHLARDA YORUG'LIKNING YUTILISHI

**Abdullayev Muhiddin Xasanboy o'g'li,
Ismoilov Hayotbek**

Andijon viloyati, Asaka tumani 36 maktab o'qituvchilari

ANNOTATSIYA

Yarim o'tkazgichlardan har xil tur strukturalarni o'stirishning molekulyar-dastali oqim epitaksiyasi va metal-organik gaz fazali epitaksiya kabi hozirgi zamon metodlarning yuzaga kelishi kvantlashgan o'ralar hamda ularning tizimidan hosil bo'luvchi o'ta panjaralarni o'stirish imkonini yaratdi.

Kalit so'zlar: Yarimo'tkazgich, metal-organik gaz faza, kvantlashgan o'ra.

ABSTRACT

The emergence of modern methods for the growth of various types of structures from semiconductors, such as molecular-current flow epitaxy and metal-organic gas-phase epitaxy, has made it possible to grow quantized coils and superconducting grids formed from their systems.

Keywords: Semiconductor, metal-organic gas phase, quantized well.

KIRISH

Olmossimon yarimo'tkazgichlarning valent va o'tkazuvchanlik zonalari s-holatlarining gibridizatsiyasi natijasida hosil bo'ladi. Shuning uchun bunday tur yarim o'tkazgichli kimyoviy birikmalarning zonaviy tuzilishi juda o'xshashdir. Valent zonasining cho'qqisi Brilliyen zonasining markazida joylashgan bo'lib, spin e'tiborga olinmaganda r-tur ($L=1$) atom orbitallari hisobiga orbital momentiga nisbatan uchkarali aynigan bo'ladi. Shuningdek, o'tkazuvchanlik zonasining shipi esa Brilliyen zonasining markazidan chetda: Brilliyen zonasining chegarasida yoki uning yaqinida joylashadi.

Yuqorida qaralgan vertikal optikaviy o'tishlarni o'z ichiga olgan nazariya energiyasi E_g ta'qiqlangan zona kengligiga yaqin qiymatli yorug'likning bunday zonaviy tuzilishli yarim o'tkazgichlarda fundamental yutilishini to'la-to'kis tavsiflay olmaydi, chunki valent va o'tkazuvchanlik zonalari orasidagi bir xil qiymatli to'lqin vektoriga mos keladigan energiya valent va o'tkazuvchanlik zonalari ekstremum qiymatlari orasidagi energiyadankattadir. Tajriba natijalari tahlilidanko'rinadiki, noto'g'ri(novertikal) yarim o'tkazgichlar deb nomlanuvchi namunalarda yorug'likning fundamental yutilish polosa(tasma)si chegarasining E_g kattalikka

bog'liqligi aniqlangan. Bunday yorug'likning yutilish koeffitsiyenti miqdoran fundamental yutilish atrofidagi to'g'ri optikaviy o'tishlar hisobiga kechadigan yorug'likning yutilish koeffitsiyentidan kichikdir.

1985- yilda Robert Kerl, Garol'd Kroto va Richard Smolli tasodifiy ravishda printsipial ravishda yangi uglerod birikmasi bo'lgan fullerenni ochishdi. Fullerenning ajoyib xususiyatlari bir qator tadqiqotchilarni jalb etdi. 1996- yilda fullerenni kashf etganlar Nobel mukofoti sovrindorlari bo'lishdi. Fulleren molekulasining asosi ugleroddir. Uglerod- ajoyib kimyoviy element bo'lib, u ko'pgina kimyoviy elementlar bilan bog'lanib, turli tarkib va tuzulishga ega bo'lgan molekulalarni hosil qila olish xususiyatiga egadir.

Maktab kimyo kursidan ma'lumki, uglerod ikkita asosiy allotrop holatiga ega. Bular: grafit va olmos. Fulleren ochilishi bilan uglerod yana bir allotrop holatga ega ekanligi ma'lum bo'ldi. Grafit, olmos va fulleren molekulalarining strukturasi ko'ramiz.

MUHOKAMA

Shunday qilib, Ge va Si yarim o'tkazgichlarida yorug'lik yutilishi fundamental polosa(tasma)si chegarasi valent va o'tkazuvchanlik zonalari ekstremumlarga mos keladigan qandaydir to'liq vektorlari bilan farqlanuvchi holatlar o'rtasidakechadigankichik ehtimollikli optikaviy o'tishlar bilan bog'langandir. Bu holda, dastlab, impuls(kvazimpuls)ning saqlanish qonuni bajarilmagandek tuyuladi. Bu qonun buzilsa, u holda masala translyatsiyaviy simmetriyasining buzilganligidan dalolat beradi. Bunday buzilishlarga kristall zichligining issiqlikli fluktuatsiyasi, boshqacha aytganda fotonning yutilish jarayonida tug'ilgan elektron va kavaklarning elementar panjaralar issiqli tebranishi, aniqrog'i fononlar bilan o'zaro ta'siri sabab bo'lishi mumkin.

Endi bir vaqtning o'zida fotonning hamda fononning yutilishi yoki nurlanishini, ya'ni bir o'tishda elektronning yorug'lik va fononlar bilan ta'sirlashishini e'tiborga olgan holda muammoni hal qilaylik. Bunday masala qo'zg'alishlar nazariyasining ikkinchi tartibli hadlari e'tiborga olingan holda hal etiladi. Bunday o'tishlar ikki etapdakechadi: birinchisida dastlab foton so'ngra fonon, ikkinchisida esa dastlab fonon so'ngra foton yutiladi yoki nurlanadi va etaplarning qay biri avval, qay biri keyin borishi oldindan ma'lum emas. Ammo har bir etapning dastlabki qadamida elektron virtual holatda bo'lib, so'ngra ikkinchi qadamdan oxirgi–real holatga o'tadi. Umuman olganda, virtual o'tishlarda energiya saqlanish qonunining bajarilishi shart emas.

Shuni qayd qilish o'rinliki, qanchalik energiyaning saqlanish qonuni bajarilmasa, u holda zarra o'sha virtual holatda yashash vaqti shunchalikkichik bo'ladi. Shuning uchun enegiya saqlanish qonunining bajarilishi aniqroq bo'lgan virtual holatlar optikaviy o'tishlarga o'z ulushiniko'proq qo'shadi. Shu ma'noda valent zonasi tarmoqlarida chuqurroq hamda o'tkazuvchanlik zonasida yuqoriroqda joylashgan holatlarning yorug'lik yutilish koeffitsiyentiga bergan ulushlarini e'tiborga olmasa ham bo'laveradi.

Kelgusida valent zonasining barcha holatlari to'la hamda o'tkazuvchanlik zonasining barcha holatlari bo'sh deb hisoblaymiz. Shuning uchun optikaviy o'tishlarning dastlabki etapi valent zonasidan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tish bilan boshlanadi deb hisoblash mumkin. Bunday o'tishlarga vertikal zonali yarim o'tkazgichlarda Γ_{25} valent zonasining cho'qqisidan o'tkazuvchanlik zonasining Γ_2 markaziga yoki novertikal zonali yarim o'tkazgichlarda esa Brilliyen zonasining L'_3 chegarasidagi holatlardan biqinda joylashgan L_1 voha holatlariga elektronlarning fotonlar ta'siridagi o'tishlarni misol qilibkeltirish mumkin. O'tishning ikkinchi etapida elektron fonon bilan o'zaro ta'sirlashib zona markaziga nisbatan biqinda joylashgan vohaga yoki valent zonasi cho'qqisidan Brilliyen zonasining chetiga o'tadi. Oxirgi tur o'tishni elektronlarning ikki har xilketma-ket o'tishlarikabi emas, balki bittakavakning dastlab biqinda joylashgan vohadan o'tkazuvchanlik zonasiga, so'ngra valent zonasining cho'qqisi atrofidagi holatlarga real o'tadi deb tasavvur etish qulaydir.

Qo'zg'alishlar nazariyasining ikkinchi tartibli yaqinlashishida hisoblangan matritsaviy element quyidagi ko'rinishni oladi

$$M_{f,i} = \sum_n \frac{\langle f|V^s|n\rangle\langle n|V^l|i\rangle}{\varepsilon_i + \hbar\omega - \varepsilon_n} + \sum_m \frac{\langle m|V^s|i\rangle\langle f|V^l|m\rangle}{\varepsilon_m + \hbar\omega - \varepsilon_f} \quad (1)$$

Bu yerda \hat{V}^l va \hat{V}^s -(1.18) tur elektromagnit to'lqin bilan va elektron-fonon o'zaro ta'sir operatorlari, ε_i -dastlabki holat energiyasi, $\hbar\omega$ va ε_n -yutilayotgan foton va elektronning oralik (virtual) holat, $\hbar\Omega$ va ε_m -energiya yutilayotgan (+) yoki nurlanayotgan (-) fonon va birinchi qadamda elektron-fonon o'zaro ta'siri sodir bo'luvchi jarayonda qatnashgan elektronning energiyasi.

\hat{V}^s operatorningko'rinishi optikaviy va akustik fononlar ishtirokidagi o'zaro ta'sirlar uchun har xildir. kelgusi qaralishi rejalashtirilgan jarayonlarda bu operator \vec{q} fononning to'lqin vektorigv farq qiluvchi holatlarni bog'laydi. Masalan, $\langle m|V^s|i\rangle$ matritsaviy element fononlarning yutilishida $\vec{k}_m = \vec{k}_i + \vec{q}$ munosabat, fononlarning

nurlanishida $\vec{k}_m = \vec{k}_i - \vec{q}$ o'rinli bo'lgan hollarda noldan farqli bo'ladi, aniqrog'i fononlarning yutilishida $\langle m|V^s|i\rangle = C_{\vec{q}}^j \sqrt{N_{\vec{q}}^j + 1}$, nurlanishida esa $\langle m|V^s|i\rangle = C_{\vec{q}}^j \sqrt{N_{\vec{q}}^j}$. Bu yerda $N_{\vec{q}}^j$ - j tur \vec{q} to'lqin vektorli fononlar soni. Masalan, termodinamik muvozanatda

$$N_{\vec{q}}^j = \frac{1}{\exp\left\{\frac{\hbar\Omega_{\vec{q}}^j}{k_B T}\right\} - 1} \quad (2)$$

C mutanosiblikkoeffitsiyenti va u elektron-fonon o'zaro ta'sirning tanlangan mexanizmiga bog'liqdir.

Yorug'likning yutilish koeffitsiyentini hisoblash uchun (1) matritsaviy element moduliningkvadrati o'tish ehtimolligiga qo'yiladi, ya'ni

$$W = \frac{2\pi}{\hbar} \sum |M_{f,i}^j|^2 \delta(\varepsilon_f - \varepsilon_i - \hbar\omega \mp \hbar\Omega_{\vec{q}}^j) \quad (3)$$

ko'rinishni oladi. Noverikal optikaviy o'tishlar matritsaviy elementi ifodasidagi maxraj virtual holatgacha bo'lgan energiyaviy masofaning ortishi bilan o'tish ehtimolligini miqdoran keskin kamaytiradi. Shuning uchun hisoblashlarda o'tkazuvchanlik zonasi markazi (Γ_2) hamda Brilliyen zonasining chegarasi (L'_3) yaqinida joylashgan virtual holatlar bilan chegaralanamiz. Endi boshlang'ich va oralik holatlar bo'yicha yig'indi olishga o'tish mumkin. Bunda boshlang'ich va oralik holatlardagi tok tashuvchilar to'lqin vektorlari mos tushadi. Shunday qilib, fononning to'lqin vektori tok tashuvchilar boshlang'ich va oxirgi holatdagi to'lqin vektorlari orqali ifodalanadi. Jumladan fononning yutilishi jarayonida $\vec{k}_f - \vec{k}_i = \vec{q}$, nurlanishida esa $\vec{k}_i - \vec{k}_f = \vec{q}$. Shuning uchun tok tashuvchilarning boshlang'ich va oxirgi holatlari bo'yicha yig'indi olinadi.

NATIJARLAR

Shunday qilib fononning nurlanishi bilan bog'liq jarayoni uchun

$$\alpha_{ucn}^{hen} \approx \sum_j Q^j (N^j + 1) \int d^3 k_i \int d^3 k_f \frac{\delta(\varepsilon_f - \varepsilon_i - \hbar\omega + \hbar\Omega^j)}{(\varepsilon_m - \varepsilon_i - \hbar\omega)^2} \approx$$

$$\approx \sum_j Q^j \frac{(N^j + 1)}{(\varepsilon_0 - \hbar\omega)^2} \int d^3 k_i \int d^3 k_f \delta(\varepsilon_f - \varepsilon_i - \hbar\omega + \hbar\Omega^j) = \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
 &= \sum_j Q^j \frac{(N^j + 1)}{(\varepsilon_0 - \hbar\omega)^2} \left((2\pi)^2 \frac{(4m_v m_c)^{3/2}}{\hbar^6} \right) \int d\varepsilon_c d\varepsilon_v \sqrt{\varepsilon_c \varepsilon_v} \delta(\varepsilon_v + \varepsilon_c + E_g - \hbar\omega + \hbar\Omega^j) = \\
 &= \sum_j Q^j \frac{(2\pi)^2 \exp\left\{\frac{(\hbar\Omega^j)}{k_B T}\right\}}{\exp\left\{\frac{(\hbar\Omega^j)}{k_B T}\right\} + 1} \left(\frac{(4m_v m_c)^{3/2}}{\hbar^6 (\varepsilon_0 - \hbar\omega)^2} \right) \int d\varepsilon_c \sqrt{\varepsilon_c (\hbar\omega - E_g - \hbar\Omega^j - \varepsilon_c)}.
 \end{aligned}$$

Bu yerda biqinda joylashgan vohadagi elektronlarning samarasiv(sa

$$\int_0^b \sqrt{x(x-b)} dx = b^2 \int_0^1 \sqrt{y(y-1)} dy = b^2 \frac{\pi}{8}. \quad (5)$$

maraviy) massasi: $m_c = N_c^{2/3} \sqrt[3]{m_{c1} m_{c2} m_{c3}}$, N_c -biqinda joylashgan vohalar soni.

Agar vohaning busag'asi Brilliyen zonasining chegarasiga mos tushsa, u holda \vec{k}_f va $-\vec{k}_f$ to'lqin vektorlarga mos keluvchi holatlar bitta vohada yotadi.

U holda

$$\alpha_{ucn}^{paz} = \sum_j Q^j \frac{(2\pi)^2 \exp\left\{\frac{(\hbar\Omega^j)}{k_B T}\right\}}{\left(\exp\left\{\frac{(\hbar\Omega^j)}{k_B T}\right\} + 1\right) (\varepsilon_0 - \hbar\omega)^2} \left(\frac{(4m_v m_c)^{3/2}}{\hbar^6} \right) \frac{\pi}{8} (\hbar\omega - E_g - \hbar\Omega^j)^2. \quad (6)$$

Fononlarning yutilishi bilangina ifodalangan yorug'likning yutilish koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi

$$\alpha_{noz}^{paz} = \sum_j Q^j \frac{(2\pi)^2}{\left(\exp\left\{\frac{(\hbar\Omega^j)}{k_B T}\right\} + 1\right) (\varepsilon_0 - \hbar\omega)^2} \left(\frac{(4m_v m_c)^{3/2}}{\hbar^6} \right) \frac{\pi}{8} (\hbar\omega - E_g + \hbar\Omega^j)^2. \quad (7)$$

XULOSA

Shunday qilib, noto'g'ri yarim o'tkazgichlarda yorug'likning fundamental yutilishi yetarlicha murakkab bo'lib, «ko'p pog'onali» bo'ladi va temperaturaning pasayishi bilan fononlarning yutilishi bilan kechadigan o'tishlar so'nib(yo'qolib) boradi. Bunday tur optikaviy o'tishlarda qanday tabiatli fononlarning ishtirok etishini aniqlash anchayin qiziqarlidir, chunki fononlarning turlari ko'p: bo'ylama vako'ndalang akustik hamda, bo'ylama vako'ndalang optik fononlar. Bu esa, o'z navbatida, fononlar funksiyasining simmetriyasini bilishni talab etadi. Yarim

o'tkazgichlarda tashish hodisalarga bag'ishlangan adabiyotlarda Ge uchun bo'ylama akustik vako'ndalang optik fononlar ishtirokidagi optikaviy o'tishlar ruxsat etilganligi isbotlangan va bu hol aniq bir masala yechilganida alohida e'tibor berilishini talab etadi.

To'g'ri va noto'g'ri optikaviy o'tishlar nazariyasi asosida hisoblangan yorug'lik yutilish koeffitsiyentining spektral bog'lanishi fundamental yutilish chegarasidagi sohani talab darajasida ifodalay olsa-da, biroq undan tashqaridagi chastotalar sohasida o'tkazilgan eksperimental natijalarni to'la-to'kis tavsiflay olmaydi. Keyinchalik aniqlash mumkinki, tajriba natijalarni, ayniqsa to'g'ri ruxsat etilgan optikaviy o'tishlar bilan bog'liq eksperimental natijalar elektron va kavakning kulon o'zaro ta'siri e'tiborga olinganida nazariy hisoblashlar bilan aniqroq ifodalanishi mumkin.

REFERENCES

1. Rasulov, R. Y., Akhmedov, B. B., Muminov, I. A., & Umarov, B. B. (2021). Crystals with tetrahedral and hexagonal lattices. Fergana. Classic.-2021.
2. Rasulov, R. Y., Salenko, Y. E., & Kambarov, D. (2002). Linear photovoltaic effect in gyrotropic crystals. Semiconductors, 36(2), 141-147.
3. Golub, L. E., Ivchenko, E. L., & Rasulov, R. (1995). Intersubband absorption of light in a semiconductor quantum well with complicated band structure. Fizika i Tekhnika Poluprovodnikov, 29(5), 1093-1100.
4. Расулов, Р. Я. (1993). Поляризациянные оптические ва фотогальванические эффекты в полупроводниках при линейном ва нелинейном поглощении света (Doctoral dissertation, Диссертация на соиск. уч. степени доктора физ.-мат. наук. Ст.-Петербург.-1993.-206 с).
5. Ивченко, Е. Л., & Расулов, Р. Я. (1989). Симметрия и реальная зонная структура полупроводников. Ташкент. Редактор АН Смирнов.
6. Rustamovich, R. V., Yavkachovich, R. R., Bahroovich, A. B., Arabboyevich, M. I., & Xusnitdin, N. (2020). TWO-PHOTONE LINEAR-CIRCULAR DICHROISM IN NARROW-ZONE SEMICONDUCTORS. European science review, (7-8), 54-59.
7. Rustamovich, R. V., Yavkachovich, R. R., Eshboltaev, I. M., Ahmedov, B., & Mamadaliyeva, N. Z. (2018). Investigation of dimensional quantization in a semiconductor with a complex zone by the perturbation theory method. European science review, (9-10-1), 253-255.
8. Rasulov, V. R., & Rasulov, R. Y. (2016). On the theory of the two-photon linear photovoltaic effect in n-GaP. Semiconductors, 50(2), 145-153.

9. Ахмедов, Б. Б. (2020). МЕТОД КР-ВОЗМУЩЕНИЙ С УЧЕТОМ ВЫРОЖДЕНИЯ. In Наука и современное общество: актуальные вопросы, достижения и инновации (pp. 21-25).
10. Ахмедов, Б. Б. (2020). УРАВНЕНИЕ ШРЕДИНГЕРА ДЛЯ ВОЛНОВЫХ ФУНКЦИЙ БЛОХА. In Научный форум: технические и физико-математические науки (pp. 20-25).
11. Ахмедов, Б., Муминов, И., & Хомиджонов, Д. (2021). УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА ДЛЯ ДВУМЕРНОГО ВОЛНОВОГО ВЕКТОРА. InterConf.
12. Mamadaliyev, V., Rasulov, R. Y., Eshboltayev, I., Ahmedov, B. B., & Abdullayev, M. (2014). About distribution of a potential barrier on borders of grains of the polycrystalline semiconductor. Europäische Fachhochschule, (9), 73-76.
13. Akhmedov, B. B., Rozikov, J. Y., & Muminov, I. A. MATERIAL'S ELECTRONIC STRUCTURE. Zbiór artykułów naukowych recenzowanych., 78.
14. Akhmedov, B., Rozikov, J., Muminov, I., & Ruziboev, V. (2018). ABOUT WAVEFUNCTIONS IN LOW-DIMENSIONAL SEMICONDUCTORS. Central Asian Problems of Modern Science and Education, 3(4), 51-57.
15. Расулов, Р. Я., Ахмедов, Б., & Мамадалиева, Н. (2018). Исследование размерного квантования в полупроводнике со сложной зоной методом теории возмущения. технологическое развитие науки: тенденции, проблемы и перспективы, 38-41.
16. Rozikov, J., Akhmedov, B., Muminov, I., & Ruziboev, V. (2019). DIMENSIONALLY QUANTIZED SEMICONDUCTOR STRUCTURES. Scientific Bulletin of Namangan State University, 1(6), 58-63.
17. Ахмедов, Б. Б., & Муминов, И. А. (2020). НЕПАРАБОЛИЧНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗОН. In WORLD SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS (pp. 28-30).
18. РАСУЛОВ, В., РАЗИКОВ, Ж., КАРИМОВА, Г., АБДУБАНАНОВ, А., & ЭШБОЛТАЕВ, И. (2017). Расчет коэффициента прохождения электронов через многослойной полупроводниковой структуры, состоящей из прямоугольных потенциальных ям и барьеров. Современные научные исследования и разработки, (2), 183-185.
19. Rasulov, V. R., Akhmedov, B. B., & Muminov, I. A. (2021). Interband one-and two-photon absorption of polarized light in narrow-gap crystals. Scientific-technical journal, 4(1), UDC-621.

-
20. Якубова, Ш. К., Хошимов, Х. А. У., & Мирзаева, Г. К. (2022). ИЗУЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРВОНАЧАЛЬНЫХ ЗНАНИЙ О МАССЕ В СРЕДНИХ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ШКОЛАХ. Scientific progress, 3(2), 73-77.
21. Маматова, М. А., & Мансурова, Г. А. (2020). МЕТОД КР-ВОЗМУЩЕНИЙ. In ИННОВАЦИОННЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: ТЕОРИЯ, МЕТОДОЛОГИЯ, ПРАКТИКА (pp. 14-18).