

YARIMO‘TKAZGICH KVANT NUQTALARIDAGI ELEKTRON HOLATLAR VA OPTIK XUSUSIYATLARNING NAZARIY TAHLILI

Muallif: Ibroximova Shaxlo Abduqodir qizi

Muassasa: Farg‘ona davlat universiteti

Yarimo‘tkazgich kvant nuqtalari (QN) elektron va teshiklar uch fazoviy yo‘nalishda cheklangan nanokristall tizimlardir. Ularning o‘lchami tashuvchining de Broyl to‘lqin uzunligi hamda eksiton Bor radiusi bilan taqqoslanadigan qiymatlarga kelganda, hajmiy yarimo‘tkazgichga xos uzluksiz energiya zonalari diskret sathlarga ajraladi. Natijada QNlarning yutilish va nurlanish spektrlari nafaqat material tarkibiga, balki zarracha radiusiga ham kuchli bog‘lanadi. Aynan shu xususiyat QNlarni rang konvertorlari, kvant-nuqta yorug‘lik diodlari, fotodetektorlar, lazerlar va bir fotonli manbalarda istiqbolli funksional materialga aylantiradi.

Mavzuning dolzarbligi shundaki, zamonaviy optoelektronikada spektral javobni kimyoviy tarkibni butunlay almashtirmasdan, nanokristall o‘lchamini nazorat qilish orqali boshqarish talab etiladi. QNda radius kichrayishi bilan tashuvchi to‘lqin funksiyasi cheklangan hajmda siqiladi, uning kinetik energiyasi ortadi va samarali optik bo‘shliq kengayadi. Bu hodisa kvant-cheklanish effekti deb ataladi. Brus modeli ushbu effektini hajmiy taqiqlangan zona, elektron-teshikning cheklanish energiyasi va ularning Kulon tortishuvi yig‘indisi sifatida tavsiflaydi. Mazkur tezisning maqsadi QN elektron holatlari va optik javobining o‘lchamga bog‘liq qonuniyatlarini qisqa nazariy tahlil qilishdan iborat.

Effektiv massa yaqinlashuvida sferik QN ichidagi elektron va teshik s-, p- hamda d-qobiqlarga o‘xshash diskret holatlarni egallaydi. Eng past optik o‘tish odatda elektronning 1S holati va teshikning 1S holati orasida yuz beradi. O‘tish energiyasiga elektron va teshikning effektiv massalari, QN radiusi hamda dielektrik singdiruvchanlik bevosita ta’sir qiladi. Radiusga teskari kvadrat bog‘langan cheklanish hadi kichik o‘lchamlarda juda tez ortadi; elektron-teshik tortishuvi esa energiyani kamaytiruvchi radiusga teskari tuzatma beradi. Shu sabab QN radiusi qisqarganda umumiy natija sifatida yutilish qirrası va fotolyuminessensiya maksimumi qisqa to‘lqinlar tomon siljiydi.

CdSe-tipidagi sferik QN uchun idealizatsiyalangan hisobda radius 2,0 nm bo‘lganda asosiy optik o‘tish energiyasi taxminan 2,54 eV ga, radius 4,0 nm bo‘lganda esa 1,91 eV ga teng bo‘ladi. Bu qiymatlar tegishli ravishda qariyb 489 nm va 651 nm to‘lqin uzunliklariga mos keladi. Bunday baho o‘lcham ortishi bilan spektrning qizil tomonga siljishini ko‘rsatadi. Sonli qiymatlar real namuna uchun qat’iy etalon emas, chunki qobiq materiali, kristall fazasi, ligandlar, temperatura va o‘lcham bo‘yicha dispersiya spektral maksimumni siljitadi. Biroq hisoblangan trend QNlar spektrini loyihalashning asosiy fizik mexanizmini ishonchli ifodalaydi.

Optik xususiyatlarni belgilovchi ikkinchi muhim omil sirt holatlaridir. Koordinatsiyasi to‘yinmagan atomlar, oksidlanish yoki interfeys nuqsonlari energiya bo‘shlig‘i ichida tuzoq sathlarini paydo qiladi. Tashuvchilar bunday sathlarga tushganda no-radiativ rekombinatsiya kuchayadi, nurlanish kvant chiqishi pasayadi va spektr kengayishi mumkin. Shu bois yadro-qobiq arxitekturasini, xususan katta taqiqlangan zonali qobiq bilan yadro sirtini passivatsiyalash, yuqori samarali QNlar yaratishning asosiy usullaridan biridir. I-tip yadro-qobiq tizimida tashuvchilar yadroda lokalizatsiyalanib, sirt bilan o‘zaro ta’siri kamayadi; II-tip tizimida esa elektron va teshik fazoviy ajralishi hisobiga o‘tish energiyasi hamda rekombinatsiya vaqti boshqariladi.

QNlarning optik xossalari ko‘p-eksiton hodisalari bilan ham boyiydi. Kuchli yoritishda bitta nuqtada bir nechta elektron-teshik jufti hosil bo‘lishi mumkin. Bunday holatda eksiton-eksiton o‘zaro ta’siri, Auger rekombinatsiyasi va optik kuchaytirish jarayonlari yuzaga keladi. Auger rekombinatsiyasi QLED va lazerlarda yo‘qotish kanali bo‘lsa-da, qobiq qalinligi, gradient interfeys va zaryad holatini muhandislik yo‘li bilan boshqarish uning ta’sirini susaytiradi. QN lazerlari uchun diskret holatlar zichligi past bo‘lgani sababli optik kuchaytirishning chegara shartlarini soddalashtirish imkoniyati mavjud, lekin no-radiativ ko‘p-zarracha jarayonlari ustidan nazorat talab qilinadi.

Olingan nazariy tahlil QN asosidagi qurilmalarni loyihalashda bir nechta amaliy xulosani beradi. QLEDlar uchun tor spektrli va rang jihatdan sof nurlanish olish maqsadida yadro radiusining monodispersligi, sirt passivatsiyasi hamda elektron va teshik injeksiyasining muvozanati ta’minlanishi kerak. Fotodetektorlarda yutilish spektri bilan zaryad ajralishi va tashish tezligi o‘rtasidagi muvozanat ustuvor ahamiyat kasb etadi. Bir fotonli manbalarda esa spektral diffuziyani kamaytirish, yorug‘ eksiton holatini boshqarish va fotonik rezonator bilan bog‘lanish muhimdir.

Xulosa qilib aytganda, yarimo‘tkazgich QNlaridagi elektron holatlar kvant-cheklanish tufayli diskretlashadi va bu optik o‘tish energiyasini radius orqali boshqarish imkonini beradi. Kichik radiusda ko‘k siljish, katta radiusda qizil siljish kuzatiladi; eksiton, sirt tuzoqlari, dielektrik muhit va yadro-qobiq interfeysi esa ushbu asosiy trendni modifikatsiyalaydi. Kelgusida ko‘p zonali k·p va atomistik modellarni vaqt bo‘yicha ajratilgan spektroskopiya bilan birlashtirish QNlarning tarkib–tuzilish–xossa bog‘lanishini aniqroq prognozlashga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Brus, L. E. (1984). Electron–electron and electron–hole interactions in small semiconductor crystallites. The Journal of Chemical Physics, 80(9), 4403–4409. <https://doi.org/10.1063/1.447218>

2. Dabbousi, B. O., et al. (1997). (CdSe)ZnS core-shell quantum dots: Synthesis and characterization. *Journal of Physical Chemistry B*, 101(46), 9463–9475. <https://doi.org/10.1021/jp971091y>
3. Klimov, V. I. (2007). Spectral and dynamical properties of multiexcitons in semiconductor nanocrystals. *Annual Review of Physical Chemistry*, 58, 635–673. <https://doi.org/10.1146/annurev.physchem.58.032806.104537>
4. Mittelstädt, A., Schliwa, A., & Klenovský, P. (2022). Modeling electronic and optical properties of III–V quantum dots. *Light: Science & Applications*, 11, 17. <https://doi.org/10.1038/s41377-021-00700-9>
5. Reiss, P., Protière, M., & Li, L. (2009). Core/shell semiconductor nanocrystals. *Small*, 5(2), 154–168. <https://doi.org/10.1002/sml.200800841>