

PUNCTE CUANTICE SEMICONDUCTOARE

Autori: Mihaela FOALEA
Conducător științific: lect. sup. Anatolie MITIOGLU

Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract: În lucrare se analizează succint fenomenele fizice fundamentale a nanocristalelor semiconductoare (puncte cuantice). Analiza include metodele de obținere și descrierea unor proprietăți remarcabile a acestora: comportare similară din punct de vedere al nivelelor energetice cu cea a atomilor; control mărit asupra lărgimii benzii interzise prin modificarea dimensiunilor, etc.

Cuvinte cheie: puncte cuantice (quantum dots), sinteză coloidală, confinare cuantică.

Nanoștiința și nanotehnologia au atras atenția întregii lumi, constituind un domeniu de frontieră activ al cercetării. Cercetările în acest domeniu au contribuit nu numai la explorarea de noi fenomene, ci au condus și la o nouă revoluție tehnologică. A fost, astfel, nevoie de dezvoltarea de instrumente complexe care să permită investigarea la nivel nanometric.

Abilitatea în obținerea de structuri nanometrice reprezintă „ingredientul” de bază al cercetărilor din nanoștiință și nanotehnologie. Structurile nanometrice reprezintă obiecte cu dimensiuni al căror ordin de mărime este de câteva zeci de nanometri, intermediare între cele ale lumii în care trăim (clasice) și cele ale lumii cuantice. Se poate vorbi, astfel, despre clustere de atomi (puncte cuantice – *quantum dots*) sau rețele de clustere de atomi (fire cuantice – *quantum wires*) care prezintă proprietăți magnetice, electrice, optice și chimice noi, grație dimensiunilor lor nanometrice.

Este cunoscut că unul din caracteristicile principale ale unui semiconductor este lărgimea benzii interzise (E_g), ce influențează proprietățile luminoase în mod direct. Aceasta poate fi controlată foarte precis prin varierea dimensiunii nanocristalelor. În cazul doturilor cuantice, ele fiind foarte mici, adăugarea sau îndepărtarea unui singur atom poate duce la o modificare considerabilă a nivelelor energetice.

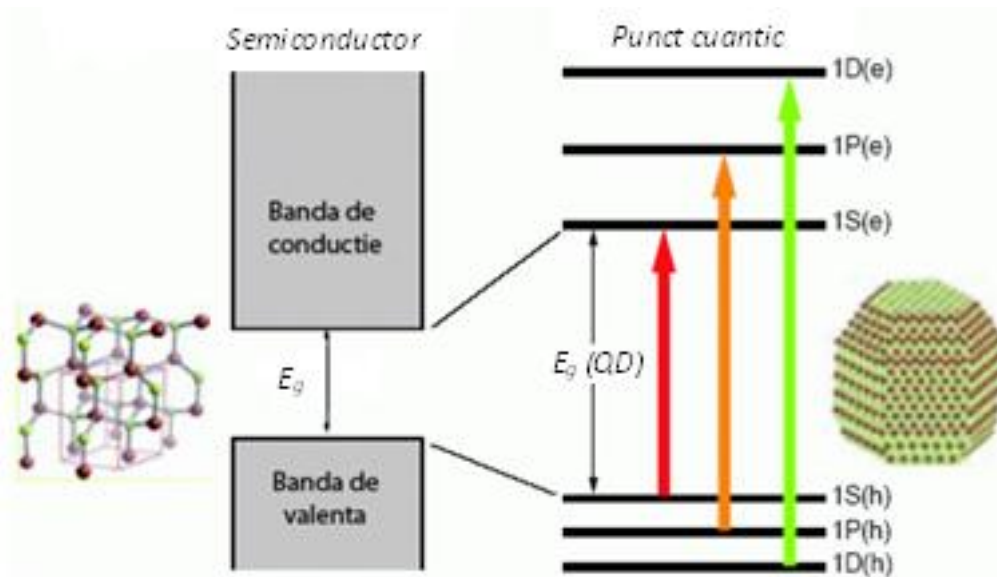


Figura 1.

Comparație între banda interzisă a unui punct cuantic și a materialului din care a provenit el [2]

Spre deosebire de spectrul materialelor semiconductoare masive, în cazul punctelor cuantice spectrul de absorbție, luminiscentă este variabil. Această proprietate a nanocristalelor de a-și modifica caracteristicile în mod continuu se explică prin faptul că nivelele de energie în punctele cuantice sunt discrete (Fig. 1).

Modificarea structurii benzilor energetice a semiconductorilor nanodimensionalizați se reflectă asupra tuturor proprietăților fizice. Doar două fenomene fizice care se utilizează pentru îmbunătățirea parametrilor optici a semiconductorilor prin nanodimensionalizare sunt: amplificarea deplasării Stokes și creșterea probabilității tranzițiilor radiative între nivelele energetice.

Deplasarea Stokes cunoscută ca diferența dintre pozițiile maximelor în spectrele de luminiscentă și absorbție. Modificarea structurii energetice a semiconductorilor stau la baza fenomenului Stokes, uneori dorită pentru separarea eficientă a radiației emise de cea absorbită.

La baza fenomenului de creștere a probabilității tranzițiilor radiative între nivelele energetice, care mai înainte făceau parte din aceeași bandă energetică la materiale nanodimensionalizate, stau de asemenea mai multe fenomene. Printre ele vom menționa redistribuirea favorabilă a densității de stări permise între nivelele energetice cuantizate și apariția unor benzi energetice interzise mici între nivelele de energie permisa cuantizate, care fac imposibile tranzițiile nonradiative între aceste nivele prin eliberarea fononilor. Evident că acest fenomen este cu atât mai pronunțat cu cât benzile energetice discrete (care mai înainte formau banda de conducție) vor fi mai distanțate – deci când fenomenul de cuantificare dimensională este mai pronunțat. Anume din acest motiv în materialele unde dimensiunea specifică a excitonilor este mult mai mare decât dimensiunea nanocristalului (selenizii de plumb, pentru care raza excitonilor ar fi de circa 40 nm, iar dimensiunea nanocristalelor de sub 20 nm) a fost observată o creștere a probabilității tranzițiilor radiative în “interiorul” benzii, care a dus și la observarea experimentală a eficienței cuantice a absorbției excitonice de pînă la 300%, fenomen benefic, imposibil de atins în materiale semiconductoare masive.

Succesul nano-fabricării necesită o înțelegere clară a proprietăților fizice ale sistemelor la scală nanometrică. Este de preferat să se lucreze într-un mediu foarte curat (condiții de vid foarte înaintat – UHV) în care concentrația de atomi de impuritate prezenți să fie extrem de mică pentru a nu influența semnificativ proprietățile nanostructurilor. Acest lucru a fost posibil prin utilizarea de tehnici moderne de epitaxie, cum ar fi epitaxia cu fascicul molecular (MBE) și depunerea chimică din stare de vapori din compuși metal – organici (MOCVD) [1].

Adesea numite atomi artificiali, din cauza similarității cu spectrul energetic al atomilor, punctele cuantice până acum fuseseră realizate cu dimensiuni între 2 și 50 nm [2]. Acestea au proprietăți electronice extraordinare, cum ar fi entanglementul sau realizarea inseparabilității cuantice a spinilor a doi electroni. Acestea permit controlul interacțiunilor între electroni să fie folosite în tehnica computațională. Pentru a vedea efecte cuantice în dispozitive electronice există două soluții: fie se reduce temperatura până aproape de zero absolut încât energia termică să devină mai mică decât energia stărilor uniparticulă, fie se reduce dimensiunea foarte mult, respectiv se crește energia potențialului de confinare a electronilor, suficient de mult încât să fie mai mare decât energia termică.

Bibliografie:

1. A.P. Alivisatos, *Semiconductor clusters, nanocrystals and quantum dots*, Science, New Series, Vol. 271, 12 February 1996, pp. 933-937;
2. V. Klimov, *Nanocrystal quantum dots*, Los Alamos Science Number 28, 2003, pp. 214-220;
3. S. V. Gaponenko, *Optical Properties of Semiconductor Nanocrystals*, Cambridge University Press, New York, 1998.
4. L. Banyai and S.W. Koch, *Semiconductor Quantum Dots*, Series on Atomic, Molecular and Optical Physics, World Scientific, USA, 1993.