

МАТЕМАТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

ҒТАМР 29.05.81

Джумамухамбетов Д., Садыкова Н.Г.

Х.Досмұхамедов атындағы Атырау мемлекеттік университеті
Атырау қ., Қазақстан Республикасы

Dzhumamuhambetov@inbox.ru

ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШ НАНОБӨЛШЕКТЕРІНІҢ ОПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

Аңдатпа

Мақалада жартылай өткізгіш нанобөлшектерінің оптикалық қасиеттері қарастырылған. Мақалада наножүйедегі жартылай өткізгіштердің оптикалық қасиеттері және нанонысандардың өлшемі азайған кезде өлшемдік эффектілер пайда болатыны зерттелген. Наноқұрылымдар өлшемін зерттеген кезде кванттық-өлшемдік эффект қарастырылған. Өлшемдері әртүрлі нанонысандар үшін қасиеттеріне қарай кванттық эффектілердің әсерін плазмотрондық резонанс бойынша зерттелген. Газофазалық синтез әдісін қолданып сұйықталған коллоидты ерітінділердің жұтылу спектрлері анықталды.

Негізгі сөздер: нанобөлшек, сұйықталған коллоидты ерітінділер, жұтылу, плазмон, плазмотрондық резонанс, Ферми деңгейі, тыйым салынған аймақ, оптика.

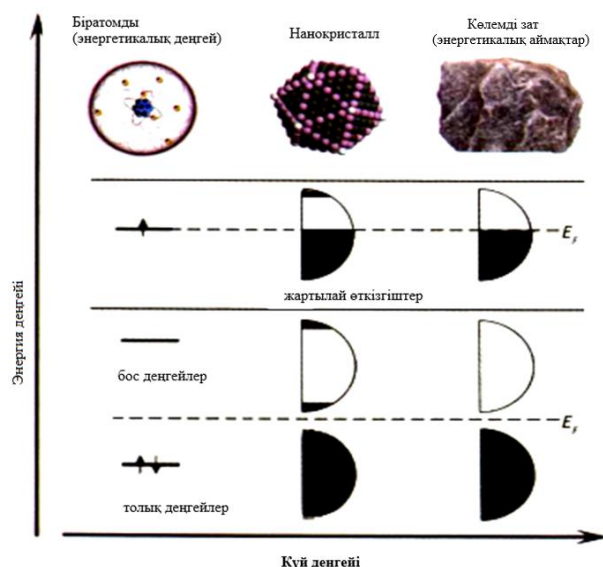
Оптикалық қасиеттері өлшемдік әсермен анықталатын материалдардың тағы бір кең танымал түрі жартылай өткізгіштердің нанобөлшектеріне рұқсат етілген шынылар болып табылады. Мұндай әйнектер оптикалық сүзгілер ретінде заманауи технологияда кеңінен қолданылды. Дегенмен, іргелі тұрғыдан жартылай өткізгіш нанобөлшектердің қасиеттерінің өлшемге тәуелділігінің табиғатын түсіну әлі күнге дейін жеткіліксіз.

Жартылай өткізгіштердің электрондық қасиеттерінің бөлшектер өлшеміне тәуелділігінің эксперименталдық байқалатын әсеріне:

- бөлшектер мөлшерін азайтумен тыйым салынған аймақтың енін ұлғайту;
- бөлшектер мөлшерін азайтумен тереңдік деңгейдегі энергия ығысуы;
- тыйым салынған аймақтың кеңеюіне байланысты наноөлшемді жартылай өткізгіштердің кешенді диэлектрлік өткізгіштігінің едәуір азаюы.

Жартылай өткізгішті наножүйелердегі электромагниттік сәулеленуді жұтылу үдерістерінің толық теориялық сипаттамасы өлшемдік кванттау әсерлерінің болуына байланысты қиынға соғады. Егер бір немесе бірнеше координаталар бойынша бөлшектің өлшемдері заряд тасығыштардың де Бройльдің толқын ұзындығы шамасымен және одан аз болса, онда жартылай өткізгіш бөлшектер резонатор болып табылады, ал заряд тасығыштардың спектрі дискретті болады. Жартылай өткізгіш наноқұрылымдар үшін кванттық өлшемді әсер металдар мен диэлектриктерге қарағанда әлдеқайда күшті. Сонымен қатар, жартылай өткізгіштер үшін нанобөлшектердің формасы де үлкен маңызға ие [1-3].

Жартылай өткізгіштердің қасиеттерінің мұндай айырмашылықтарын түсіндіру үшін қатты дененің аймақтық құрылымына бөлшектер мөлшерінің әсері зерттелді. Нанокристалды жартылай өткізгіштерде тыйым салынған аймақ енінің ұлғаюын айқындайтын әсем үлгі 1982 жылы Ал. Эфрос және А. Эфрос ұсынған өлшемдік кванттау теориясы болып табылады. Ол нанокристаллдарындағы негізгі экситонды жұтудың "көк жылжу" тәуелділігі бойынша А. И. Екимов пен А. А. Онущенконың эксперименталдық деректеріне негізделеді. Жекелеген атомдардан бөлшектер пайда болған кезде атомдық деңгейлер жалпыланған молекулалық орбиталдарды қалыптастырады, содан кейін қатты денеге тән аймақтық құрылымға бөлінеді. Бұл ретте делокализация көп жағдайда энергетикалық аймақтың орталығы ұшырайды, ал аймақтың шеттері бойынша бөлшектердің аз мөлшері кезінде энергетикалық деңгейлердің оқшаулануы байқалады. Яғни аймақ орталығы үздіксіз электронды тығыздыққа ие, ал шеттері дискретті деңгейден тұрады (сурет 1). Металл нанобөлшектер үшін Ферми деңгейі аймақтың ортасында жатыр және өлшемдік фактордың көрінісі жеткілікті әлсіз. Осылайша, бірнеше Кельвин градустан жоғары температурада металл бөлшектерінің мөлшерін (Ферми деңгейі аймақтың ортасында жатқан) 3-5 нм дейін азайту көлемдік металдармен салыстырғанда олардың электрондық құрылымының өзгеруіне әкелмейді. Екінші жағынан, жартылай өткізгіштерде Ферми деңгейі энергетикалық аймақтар арасында жатыр, және дәлірек аймақтардың шеттері оптикалық және электрлік қасиеттерді анықтайды. Осылайша, аймақтар арасындағы оптикалық өтпелер 20-30 нм дейінгі жартылай өткізгіш бөлшектерінің өлшемдеріне қатты тәуелді, ал аймақтың ірі бөлшектерінің толық үздіксіз энергетикалық спектрі бар. Сонымен қатар, нанокристалл мөлшерін азайтумен электрондық және шаңды аймақтардың ені азаяды, бұл оптикалық өткелдердің жалпы энергиясының өсуіне әкеледі.



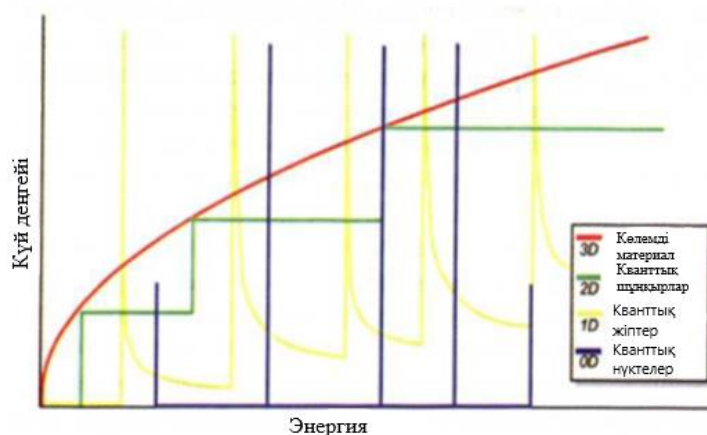
Сурет 1.

Аймақтық құрылым анизотропты болғанда жартылай өткізгіш бөлшектер қасиеттерінің күшті анизотропиясы де осылай түсіндіріледі. Әр түрлі геометриядағы нанобөлшектер әртүрлі энергетикалық спектрге ие, және де әр түрлі қасиеттерге ие. 2-суретте жартылай өткізгіш нанобөлшектердің өлшемдерінің электрондар күйлерінің тығыздығына әсерін бейнелейтін схемалық диаграмма берілген. Өлшемдік кванттау теориясына сәйкес, электрондардың өткізгіштік және тесік аймақтарындағы тәртібі жартылай өткізгіш бөлшектерінің валентті аймағындағы шексіз әлеуетті кедергімен қоршалған әлеуетті шұңқыр жақындауында қарастырылады. Сфералық нанокристалл үшін бұрыштық моменттің кванттық санымен l сипатталатын электрондық және кемтіктік кванттық өлшемдер энергиясы параболалық жақындауда жазылуы мүмкін:

$$E_{l,n}^{e,h} = \frac{\hbar^2 \Phi_{l,n}^2}{2m_{e,h} D^2}$$

мұнда $m_{e,h}$ - электрон мен кемтіктің тиімді массасы, D - кристалл радиусы, $\Phi_{l,n}$ - l -дәрежесіндегі Бессель сфералық функциясының n -түбірі.

Сонымен қатар, электрон мен кемтіктердің энергиясы артады, сәйкесінше, тыйым салынған аймақтың өзін тиімді арттыра отырып, валентті аймақтан өткізгіштік аймаққа өтетін оптикалық көшудің ең аз энергиясы өседі [4].



Сурет 2.

Үлкен материалмен салыстырғанда нанобөлшектерде тыйым салынған аймақ енінің өсуі өте үлкен мәнге жетуі мүмкін. Мысалы, CdS нанокристалдары үшін бұл шама 1,3 эВ. Бөлшектер мөлшерін 20-дан 2 нм-ге дейін өзгерте отырып, біз кадмий сульфидінің тыйым салынған аймағының енін 1,7 эВ-дан (көлемді материал) 3 эВ-ға дейін өзгерте аламыз, яғни. нақты барлық оптикалық спектр шегінде.

Нанокристаллдардың оптикалық қасиеттері олардың радиусының көлемді материал экситонының Бор радиусының қатынасына байланысты (μ - экситонның келтірілген салмағы):

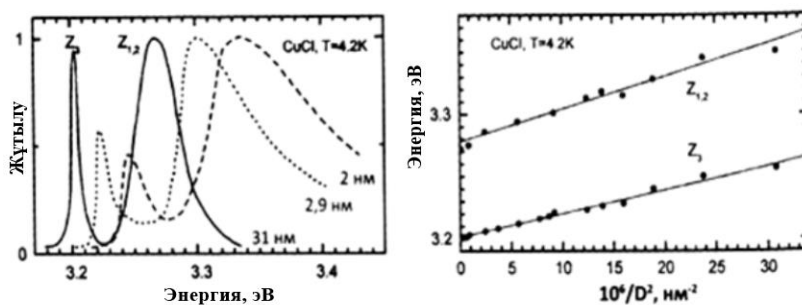
$$a_B = \frac{\hbar^2 k}{\mu e^2}$$

1) $D \gg a_B$ кезде (мысалы CuCl ірі нанобөлшектері үшін $a_B = 0,68$ нм): экситон энергиясы бос электрондармен кемтіктер энергиясынан көп. Электронды-кемтік жұп өзін потенциалды шұңқырдағы экситон ретінде әкеледі, оның энергиясы

$$E = E_g - E_{ex} + \frac{\hbar^2 \pi^2}{2\mu D^2}$$

E_g – көлемді кристалл үшін тыйым салынған аймағының ені, E_{ex} – көлемді кристаллдың экситондық энергиясы, $\frac{1}{\mu} = \frac{1}{m_e^*} + \frac{1}{m_h^*}$ - экситонның эффективтік массасы. Мұндай жүріс шағын Бор радиусы бар өте ірі нанобөлшектерге тән, мысалы CuCl үшін $a_B = 0,68$ нм.

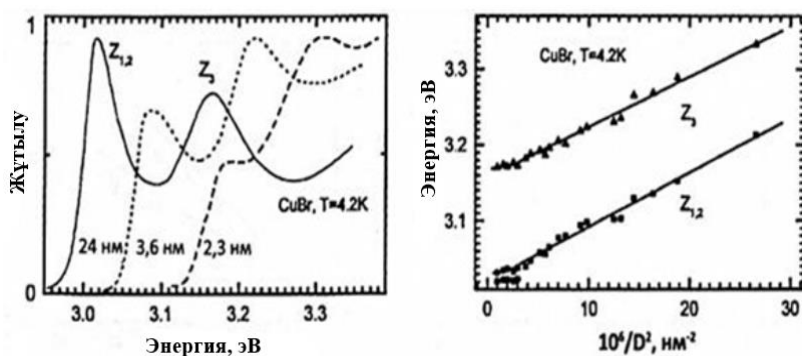
3-суретте олардың көлеміне байланысты CuCl нанобөлшектері үшін жұту спектрін өзгеруі көрсетілген. Бұл спектрлерде екі төменгі деңгейлі кемтіктермен байланысқан екі экситон шыңы бар.



Сурет 3.

2) $a_e > D > a_h$, мұнда $a_e = \frac{\hbar^2 k}{m_e e^2}$, $a_h = \frac{\hbar^2 k}{m_h e^2}$ электрон мен кемтіктердің бор радиусы.

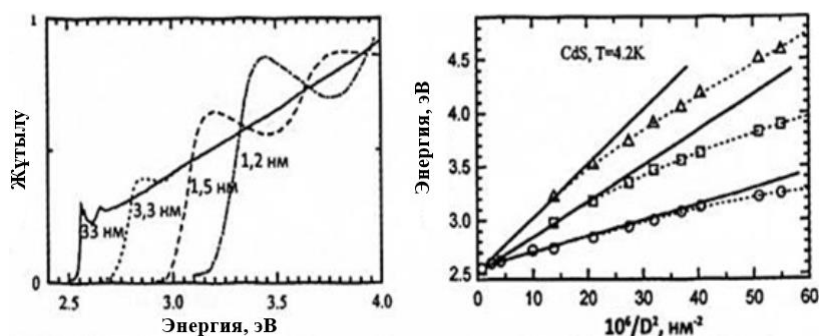
Тез электрондардың потенциалында кемтіктер жылжиды және нанокристалл ортасында орналасады. Экситон спектрі нанокристалл орталығы жанындағы кемтік осцилляциясы ретінде сипатталуы мүмкін. Мұндай спектр жұтылу жолағының шетінің едәуір ығысуымен CuBr нанобөлшектері үшін байқалады (сурет 4).



Сурет 4.

3) $D \ll a_B$: электрон мен кемтік қозғалысы энергия бойынша квантталған, ал олардың потенциалды шұңқырдағы жүрісі өзара әсер ететін бөлшектердің жүрісіне ұқсас.

Бұл төменгі тиімді массасы және Бор орбитасының үлкен радиусы бар (CdS және т.б.) материалдар үшін жүзеге асырылады (сурет 5).



Сурет 5.

$A^{IV}B^{VI}$ жартылай өткізгіштерінде экситон бор радиусының ең үлкен мәні (PbS үшін $a_B = 2$ нм, CdS үшін $a_B = 6$ нм). Мұндай нанобөлшектер ең қызықты: ең жоғары кванттық өлшемдік әсері және күшті сызықты емес оптикалық қасиеттері байқалады [5]. Өлшемдік кванттау теориясы идеалданған. Көптеген жағдайларда нанобөлшектерді электрондық тығыздықтың біртекті үлестіруімен нүктелік өлшемдегі бір экситондық тұзақ ретінде қарастыруға болмайды. Бұл теория тек бірінші жақындау болып табылады және бөлшектердің өлшемінің функциясы ретінде экситонның энергетикалық деңгейлері мен энергиясының ығысуын сапалы бағалау үшін пайдаланылуы мүмкін.

Әдебиеттер тізімі:

1. Klimov V.I. Semiconductor and Metal Nanocrystals: Synthesis and Electronic and Optical Properties. - Dekker: New York, 2004. - p. 484
2. Talapin D.V., Lee J. -S., Kovalenko M.V., Shevchenko E.V. Prospects of Colloidal Nanocrystals for Electronic and Optoelectronic Applications. - Chem. Rev., 2010, 110. - p. 389–458.
3. Роко М.К., Уильяме Р.С., Аливисатос П. Нанотехнологии в ближайшем десятилетии. - Мир, Москва, 2002. - С. 296.
4. Получение и исследование наноструктур: лабораторный практикум по нанотехнологиям / ред. А. С. Сигов. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - С. 146
5. Джумахамбетов Д., Садыкова Н.Г. Металл нанобөлшектерінің оптикалық қасиеттері // Х.Досмұхамедов атындағы Атырау мемлекеттік университетінің Хабаршысы. - Атырау, №3 (54), 2019. - 99-103 б.

Аннотация

В статье рассматриваются оптические свойства полупроводниковых наночастиц. В статье исследуются оптические свойства полупроводников в наносистеме и появление размерных эффектов при уменьшении размера нанобъектов. Квантово-размерный эффект учитывается при изучении размеров наноструктур. Влияние квантовых эффектов на свойства нанобъектов различных размеров было изучено методом

плазмонотронного резонанса. Спектры поглощения жидких коллоидных растворов определяли газофазным методом.

Ключевые слова: наночастица, сұйықталған коллоидты ерітінділер, поглощение, плазмон, плазмотронный резонанс, уровень Ферми, запрещенная зона, оптика.

Abstract

The article discusses the optical properties of semiconductor nanoparticles. The article investigates the optical properties of semiconductors in a nanosystem and the appearance of size effects with a decrease in the size of nano-objects. The quantum-size effect is taken into account when studying the sizes of nanostructures. The effect of quantum effects on the properties of nano-objects of various sizes was studied by the plasmonotron resonance method. The absorption spectra of liquid colloidal solutions were determined by the gas-phase method.

Key words: nanoparticles, colloidal solutions, absorption, plasmon, plasmonotron resonance, level of Fermi, restricted area, optics.

МРНТИ 14.35.09

¹Мухамбетова М.Ж., ²Серік М., ³Kultan J.

^{1,2} Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева,
г.Нур-Султан, Республика Казахстан

³Экономический университет в Братиславе
г. Братислава, Словацкая Республика

mukhambetovamj@gmail.com

ПУТИ ПРИМЕНЕНИЯ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ВУЗА МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНЫХ СИСТЕМ

Аннотация

В данной статье рассматриваются методы защиты клиент-серверных систем, и их применение в учебном курсе по клиент-серверным технологиям. Структура и методические аспекты внедрения модуля «Системы безопасности в серверных баз данных и организация подключения к данным» в учебном процессе вуза. Применение методов по настройке виртуальной частной сети, аутентификация в MS SQL Server, создание группы пользователей и управление их записями, роль серверов и базы данных, назначение ролей к базам данных и их объектам, резервное копирование, восстановление базы данных.

Ключевые слова: клиент-серверные системы, виртуальная частная сеть, аутентификация, безопасность, защита, учебный процесс, модуль.