



Студенттер мен жас ғалымдардың
«ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ БІЛІМ - 2018»
XIII Халықаралық ғылыми конференциясы

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

XIII Международная научная конференция
студентов и молодых ученых
«НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ - 2018»

The XIII International Scientific Conference
for Students and Young Scientists
«SCIENCE AND EDUCATION - 2018»



12th April 2018, Astana

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ**

**Студенттер мен жас ғалымдардың
«Ғылым және білім - 2018»
атты XIII Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XIII Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«Наука и образование - 2018»**

**PROCEEDINGS
of the XIII International Scientific Conference
for students and young scholars
«Science and education - 2018»**

2018 жыл 12 сәуір

Астана

УДК 378

ББК 74.58

Ғ 96

Ғ 96

«Ғылым және білім – 2018» атты студенттер мен жас ғалымдардың XIII Халықаралық ғылыми конференциясы = XIII Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Наука и образование - 2018» = The XIII International Scientific Conference for students and young scholars «Science and education - 2018». – Астана: <http://www.enu.kz/ru/nauka/nauka-i-obrazovanie/>, 2018. – 7513 стр. (қазақша, орысша, ағылшынша).

ISBN 978-9965-31-997-6

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

УДК 378

ББК 74.58

ISBN 978-9965-31-997-6

©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия
ұлттық университеті, 2018

Усербаев Данияр Рамазанович, Шәкен Нұрқанат Ришатұлы

Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ Техникалық физика кафедрасының студенттері

Ғылыми жетекші – Ж.К. Ермакова

Кванттық нүктелердің (КН) бірегей оптикалық қасиеттеріне байланысты оларды әртүрлі салаларда қажетті материал ретінде қолданылады. КН қолдануықарқынды даму үстінде, атап айтқанда жарық шығаратын диодтарда, дисплейлерда [1,2], лазерлерде [3-6], күн батареяларында бар [7-9].

Жартылай өткізгіш КН – ол нанокристалдар болып табылады, яғни өлшемдері барлық үш бағытта Бор экситонының радиусынаннақты материал үшін аз болады [10, 11]. Осындай объектілерде өлшемдік эффект байқалады: оптикалық қасиеттері, атап айтқанда, тыйым салынған зонаның ені (тиісінше, сәулеленудің толқын ұзындығы) және экстракция коэффициенті нанобөлшектердің өлшемі мен олардың пішініне тәуелді [6, 12]. Осындай айтарлықтай кеңістіктік шектеулердің әсерінен КН бірегей оптикалық және химиялық сипаттамаларға ие [11, 12]:

- жоғары фототұрақтылық қоздырылған сәулеленудің қуатын бірнеше есе арттыруға және нақты уақытта флуоресцентті белгілердің тәртіптерін ұзақ бақылауға мүмкіндік береді [10, 13].

- жұтылудың кең спектрі - әртүрлі диаметрлі КН-лер бір мезгілде толқын ұзындығы 400 нм болатын (немесе басқаша) жарық көзімен қоздырылуы мүмкін болғандықтан, осы үлгілердің эмиссиялық толқын ұзындығы 490-590 нм аралығында өзгереді (флуоресцентті түс көк түстен қызғылт-қызылға дейін) [12].

- симметриялы және жіңішке (жарты биіктікте шыңның ені 30 нм-нен аспайды) КН-нің флуоресценттік шыңы түрлі-түсті белгілерді алу процесін жеңілдетеді [10, 11].

- КН-нің люминесценттік жарықтылығы жоғары болуынан флуоресцентті микроскоптың көмегімен бір нысан ретінде ғана анықталады [14, 15].

CdSe ядролары флуоресценцияның төменгі жарықтылығына ие - олардың кванттық шығымы (КШ), әдетте, 5% -дан аспайды. КШ және фототұрақтылық, флуоресцентті CdSe ядролары беткі қабаттың белсенділігін төмендететін ұқсас құрылымды мен құрамды кең диаметрлі жартылай өткізгіш қабаты бар, осылайша флуоресцентті КШ айтарлықтай артады [11, 15]. Гидрофобты КН-ні су ерітінділеріне ауыстырудың екі негізгі тәсілі бар: лигандаларды алмастыру әдісі және амфифильді молекулалармен жабу әдісі [11, 12, 13]. Сонымен қатар, көбінесе жеке категория ретінде КН-ні кремний оксидімен қаптау [16].

Лигандаларды алмастыру әдісі. Лигандаларды алмастыру әдісін қолданып, органикалық ортада КН-лерді қаптайтын гидрофобты молекулалар гидрофильдіге ауыстырылады [17]. Әдетте, гидрофобты лигандалар карбоксил, оксофосфоний және аминотоптары арқылы КН беткі металдар атомдарымен байланыстырылады. Тиол тобының КН бетіне жақындығы бар болғандықтан, осы әдіспен пайдаланылатын гидрофильді лигандалардың көпшілігі осы топты камтиды [12, 18]. Осы нүктелердің айқын жетіспеушілігі олардың иондық күші мен $pH > 7$ төмен ортада ғана тұрақты болып табылады. Тиоқышқылмен қапталған КН - нің басқа кемшілігі ретінде тиолды топтың дисульфидті топқа дейін жеңіл қышқылдануы уақыт мезегінде төмен тұрақтылыққа ие, яғни өз кезегінде КН –дің беттік атомдарымен байланысқа түспейді және нанокристаллдар тұнады. Сонымен қатар, гидрофобты лигандаларды меркапта шығымды лигандаларға алмастыру КШ төмендеуіне әкелуі мүмкін екендігі көрсетілген [16], себебі тиолды топ флуоресцентті ядромен жанасқан кезде флуоресценттің қарқындылығының төмендеуіне әкеледі.

Амфифильді молекулалармен гидрофобты КН қаптау әдісі. КН қаптауда қолданылатын амфифильді молекулалар лигандалармен байланысу үшін гидрофобты (әдетте көмірсутекті) тізбектерге ие, алдымен КН қаптайтын гидрофильді топтар (мысалы,

карбоксилді) әсерінен КН су ерітіндісінде тұрақтанады және осы арқылы КН биомолекулалармен байланысқа түседі [16]. Төмен молекулалық реагенттердің орнына полимерлі амфифильді молекулалардың қолданылуы КН уақытша ерітінділерінде әлдеқайда тұрақты қалыптастыруға әкеліп соқтырады, өйткені бір полимер молекуласы бірден бір КН-мен көптеген байланыстар жасайды [19]. Бастапқы лигандалар КН бетінде қалады, яғни гидрофилизация процесінде КН-нің беткі қабаттары өзгеріссіз қалады және соның салдарынан КН-ді суға салғаннан кейін флуоресценцияның жарықтылығы іс жүзінде азаймайды.

Кремний оксидімен қаптау әдісі. Кремний оксидімен қаптау бастапқы гидрофобты лигандаларды агенттерді силикондайтын молекулаларға алмастыру болып табылады, яғни КН айналасында кремний оксиді қабығы түзілген кезде меркаптопропилтрис(метилокси)силан, поли(винил)пироллидон біріктіріледі [20]. Тұрақтылықты және биоүйлесімділікті арттыру үшін кремний оксиді қабатына ПЭГ (полиэтиленгликоль) тізбектері енгізіледі. Кремний оксидімен қапталған КН ерітінділері жоғары фототұрақтылықпен және сақтау тұрақтылығымен ерекшеленеді [16].

CdSe кванттық нүктелерін синтездеу әдістеріне сипаттама

Қазіргі уақытта нанокристалдарды синтездеу жолдары өте көп үлкен. Мысалы: заттың «ұсақталуына» негізделуі (жоғарыдан төменге) және нанокристалдарды «өсіруге» (төменнен жоғарыға) бағытталған әдістер. Коллоидты кванттық нүктелерді синтездеу үшін нанокристалдарды өсіруге негізделген химиялық әдістер қолданылады. Полярлы емес ортада өсіру арқылы алынған үздік сапалы кванттық нүктелерге қызығушылық арта бастады (бұл әдісті 1992 жылы С.В.Мугау ұсынған [4]).

Полярлы емес орталарда коллоидты КН синтездеу

Полярлы емес орталарда коллоидты кванттық нүктелерді өсіру әдісі бірқатар артықшылықтарға ие:

1. кванттық нүктелердің өсу процесін бақылау мүмкіндігі
2. кванттық нүктелердің беттік күйінің белсенділігінің төмендеуі
3. өлшемдері бойынша таралуы (5-8 % деңгейінде)
4. кванттық нүктелерді тазалау және белгілеу мүмкіндігі (матрицаның болмауы).

Осы уақытта дейін жасалған әдістердің түрлеріне координацияланатын еріткіште синтездеу және координацияланатын прекурсормен синтездеу қосылған:

- жоғары қайнаған тұрақтанған еріткішті синтездеу (мысалы, триоктилфосфин оксид) [4]. Прекурсорлар.

- жоғары қайнаған инертті еріткіште (координацияланбайтын еріткіш—мысалы дифенилды эфир) стабилизациялайтын прекурсорларды қолданып синтездеу [5].

Коллоидты синтездеуде негізгі 3 сатыға бөлуге болады:

- 1) Нуклеация;
- 2) Ұрықтардың (зародыш) өсуі;
- 3) Освальдтың пісіп жетілуі (созревания);

Аса қаныққан ерітіндідегі нуклеация

Ұрықтүзілудің классикалық теориясына сәйкес, нуклеация тосыннан болады: аса қаныққан ерітіндінің кейбір тұрақсыз аймақтарында еріген заттың молекулалары немесе иондары ұрықтар түзіп, өзінен-өзі кристаллдана алады (1-сурет). Аса қаныққан ерітінді энергия бойынша тұрақсыз болғандықтан, гомогенді нуклеация термодинамикалық шартталған [6]. Ұрықтардың түзілу жылдамдығы салыстырмалы аса қанығуға тура пропорционал және келесі теңдеумен өрнектелуі мүмкін:

$$U = kS = \frac{k(c_{\text{II}} - c_{\text{H}})}{c_{\text{H}}}$$

мұндағы, k - пропорционалдық коэффициенті, S - аса қанығу дәрежесі, c_{H} —қаныққан ерітіндінің концентрациясы, c_{II} - аса қаныққан ерітіндінің концентрациясы.

Неғұрлым $c_{II} - c_{II}$ айырмасы үлкен болған сайын және c_{II} аз болған сайын, соғұрлым ұрықтар тезірек түзіледі және көбірек кристаллдану орталықтары пайда болады, сонымен бірге коллоидты бөлшектер өлшемі бойынша орташа мәнге жақын бола түседі.

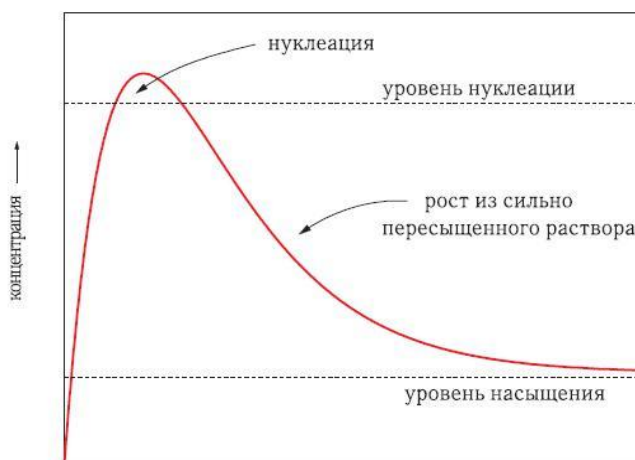
Ұрықтар түзілу кезінде фазалар бөлінуінің жаңа беті пайда болады. Бұл процесс жүйенің еркін энергиясын бөлшектердің диаметрінің квадратына пропорционалды арттырады.

Сол уақытта химиялық айналу есебінен жүйенің энергиясы 3 дәрежелі кристаллиттердің диаметріне пропорционалды төмендейді.

$$\Delta G = -\frac{4}{3}\pi r^3 k_B T \ln S + 4\pi r^2 \gamma$$

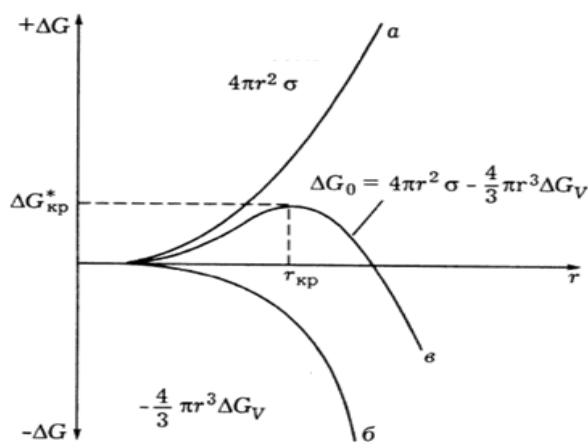
мұндағы, V – тұнған (осаждаемый) фазаның молекулалық көлемі, r – ұрықтың радиусы, k_B – Больцман тұрақтысы, γ – үлестік беттік энергия.

Олай болса, бөлшек өлшемдерінен жүйенің еркін энергиясының жиынтық өзгерісінің тәуелділігі r^* критикалық өлшем кезінде экстремумы бар (2-сурет): $r^* = \frac{2V\gamma}{3k_B T \ln S}$



Сурет-1. Нуклеация кезеңдерінде және аса қаныққан ерітіндіден өсуінде конденсацияланатын заттың концентрациясының өзгеруі.

Максималды еркін энергия ұрықтүзілу активациясының энергиясына тең. S осы мәні үшін r^* -дан үлкен өлшемді барлық бөлшектер өсетін болады, ал r^* -дан кіші өлшемді барлық бөлшектер еритін болады. Берілген теңдеуден көріп тұрғанымыздай, аса қанығудың үлкен дәрежесі аз критикалық өлшемді ұрықтарға сәйкес келеді [6].



Сурет-2. Нуклеация тосқауылының құрылу сызбасы: а) фазаралық беттің өсуі себебінен еркін энергияны арттыру, б) фазалық айналу себебінен еркін энергияны төмендету, в) ΔG нәтижелік өзгеруі. [6].

Ұрықтардың өсуі сатысы.

Кристаллдардың өсуіне байланысты құбылысты түсіндіру кезіндегі коллоидты теория кристаллдардың формалары және оның барлық қырларының беттік энергиясы арасындағы байланыстан шығады. Кристаллдардың өсуінің диффузиялық түсіндірмесіне сай, кристаллдық қырлардың түзілу процесі үлкен жылдамдықпен өтеді және диффузия жылдамдығына ғана тәуелді. Процесс диффузиялық болғандықтан, оны баптайтын негізгі параметр болып табылатын физикалық шама - температура [7].

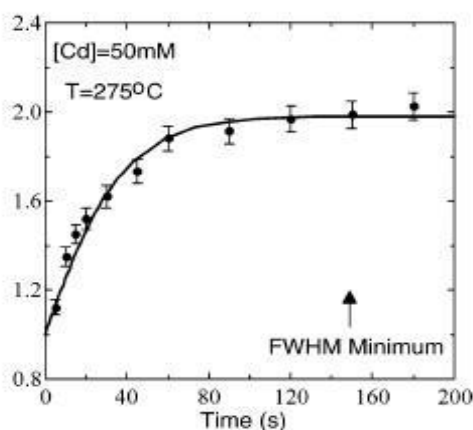
Егер қырлардың өсу процесін заттарды жеткізу (подвод) процесіне қарағанда айтарлықтай баяу болып табылады деп болжасақ, онда заттың концентрациясының өзгерісі келесідей түрде болады

$$\frac{d[Cd]_t}{dt} = -kA(t)[Cd]_tN(t)$$

Онда сфералық формалы нанокристаллдардың өсуі келесідей өрнекпен сипатталуы мүмкін

$$\frac{dr}{dt} = k \left(V_m ([Cd]_o - [Cd]_{eq}) - \frac{N_o 4\pi r^3}{3} \right) = k(A - Br^3)$$

3-суретте CdSe нанобөлшектерінің өсу кинетикасы көрсетілген (эксперименттік мәліметтер және сфералық нанобөлшектердің өсуі үшін өрнектерді жуықтау (аппроксимация))



Сурет-3. CdSe нанокристаллдарының өлшемдерінің өсу уақытына тәуелділігі [7].

Оствальдтық пісіп жетілу

Реагенттер біткен кезде бөлшектердің өсуі себебінен Оствальдтың пісіп жетілу процесі басталады. Онда үлкен бөлшектер жүйенің беттік энергиясын азайта отырып, ұсақ бөлшектердің еріуі (үгілуі) есебінен өсуін жалғастыра береді. Осыдан кейін фокуссыздандыру болады. Аса қанығу дәрежесін азайтқан кезде ұрықтардың критикалық өлшемі өседі және осы критикалық өлшемнен кіші бөлшектер ериді. Егер реакцияны жылдам тоқтатын болсақ, онда осы кезеңде бөлшектер өлшемі бойынша кең таралуға ие болады. Оствальдтық пісіп жетілу кезеңінде монодисперстік бөлшектер алу мүмкін емес. Бөлшектердің аса қанығуы толық жоғалғаннан кейін қалған өлшемі микрометрге жетуі мүмкін, сондықтан өлшемі бойынша жақсы таралатын нанокристаллдарды жарылыстық нуклеация кезінде және оның бітіуінен кейін реакцияны жылдам тоқтатқанда және Оствальдтық пісіп жетілу басталғанға дейін ғана алуға болады. Жарылыстық нуклеация үшін аса қанығудың жоғары дәрежесін жасау қажет.

Бөлшектерді тұрақтандыру (стабилизация).

Айрықша назарға лайық сұраққа күлді тұрақтандыру жатады. Бізге берілген дисперстікке жету ғана қажет емес, сондай-ақ уақыт бойынша ерітіндіні тұрақтандыру керек. Бұған фаза бөлімі шекарасындағы беттік керіліс энергиясының азаюы есебінен қол жеткізуге

болады. Бұл жүйеде дисперсиялық орта және дисперстік фазадан өзге тағы да бір құраушы – дисперстік жүйенің тұрақтандырғышын қосуға әкеледі. Фазалар бөлімі шекарасында адсорбцияланып, ол құрылымды-механикалық тосқауыл жасайды және осылай агрегацияға кедергі жасайды. Дәл осы, яғни тұрақтандырғышты сәтті таңдау КН коллоидты синтезінде шешуші мәнге ие. Тұрақтандырғышқа талаптар айтарлықтай жоғары қойылады: біріншіден, ол дисперстік фазаға бөлшектердің агрегациясын болдырмау керек. Екіншіден, КН диффузиялық өсуіне кедергі жасамау керек. Үшіншіден, тұрақтандырғыш молекулалары коллоидты бөлшектердің бетіне бағдарланып, бір жағынан онымен коваленттік байланыспен берік байланыста болулары керек, сол уақытта молекуланың бос соңы еріткішпен мықты тектестікке ие болуы керек, яғни дисперсиялық ортаға, сонымен қатар, КН жеткілікті жоғары ерігіштігін қамтамасыз ету керек. Төртіншіден, тұрақтандырғыш молекулалары үзілген байланыстарды алып тастап және заряд тасымалдаушыларды оның ішімен локализациялап КН бетінің белсенділігін төмендетуі қажет.

CdSe нанокристалдарының синтезі

Біз зерттеу үлгісі ретінде CdSe кванттық нүктесінің бес түрін алдық: EN-1, EN-2. Берілген кванттық нүктелерді синтездеу әдістері төменде көрсетілген.

N-1 үлгісінің синтезі. Үш басты шыны сауытқа 5мл дифенил эфиірі құйылды. Оның ішіне 0,60 мл. олейн қышқылы және 0,1332 гр кадмий ацетаты $Cd(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ ертілді. Пайда болған ертінді магниттік араластырғыш арқылы инертті газ атмосферасында араластырылды, $150^{\circ}C$ температурада 45 минут ұсталды. Бұл шара кадмий олеатын алуға бағытталды, яғни *кадмий прекурсорын* (бірінші прекурсор) алуға арналған шара деп түсінеміз. Бұл процесс кезінде құрамдық сумен сірке қышқылы жойылды (кадмий ацетатының құрамындағы $Cd(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$).

Күкірт прекурсорын (екінші прекурсор) даярлау үшін 0,079 гр күкірт ұнтағы баска ыдыста 0,5 мл три-н-октилфосфинда (TOP) диспергирленді және $50^{\circ}C$ тен қыздырған кезде толық ертілді. Бұл кезде три-н-октилфосфинселениді (TOPSe) айналуы басталды.

Кадмий олеаты пайда болғаннан кейін үш басты сауыттаға температураны $250^{\circ}C$ -қа тұрақтандырды және TOPSe ертіндісінің 2.2 мл инъекциясын жүргіздік. Инъекциядан кейін ертіндіні 5 минут бойы осы температурада ұстадық, кейін қыздыру тоқтатылып, колбадағы реакциялық қоспа бөлме температурасына дейін суытылды. Кванттық нүктелерді бөліп шығару үшін 2 мл гексан немесе гептан қосылады, араастырылады, жыне кейінін ацетон қосылып центрифуга көмегімен тұнба алынады.

CdSe нанокристалдарын синтездеп және оларды зерттей отырып келесі эксперименттік нәтижелер алынды:

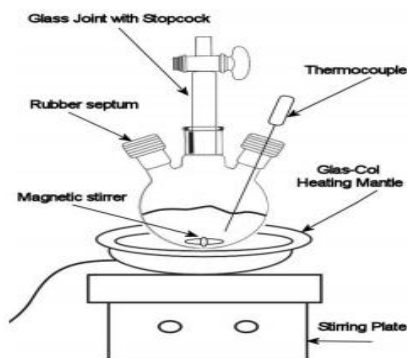
1) Метал халькогенидтермен, $A^{II}B^{IV}$ тобының элементтері, оның ішінде CdSe, CdTe, CdS және ядро/қабықша типтес кванттыз нүктелер мысалы CdSe@CdS, CdTe@CdS, CdSe@ZnS, тағы PbS, PbSe, PbTe олардың коллоидты синтез әдістерімен алу технологиясын, золь-гель синтез әдісімен алу жолдарымен таныстық.

2) Алынған эксперименттік мәліметтерді ORIGIN PRO 8.0 графикалық бағдарламасы көмегімен жасалды. Жұмыс барысында осы бағдарламаны игерілді. Эксперименттік массивті өндеген кезде спектрлерді smoothing(жалпақ ету), спектрлерді бір-біріне қосу, алу, бір-бірінен ажырату, белгілі константаларға өзгерту және т.б. операцияларды меңгерілді.

3) Люминесценция спектрінің шың максимумының ығысуы нанобөлшек пішініне тәуелділігі эксперименттік жолмен анықталды.

4) Кванттық нүктелердің синтез уақытына тәуелділігі, яғни синтез уақыты үлкейген сайын нанобөлшектердің пішіні үлкейе тусегіні эксперименттік жолмен анықталды.

5) Люминесценцияның кванттық шығуының синтез уақытына тәуелділігі эксперименттік жолмен анықталды осы айтылған соңғы 3 эксперименттік жайт синтезделген нанобөлшектердің кванттық-өлшемдік эффектісіне ұшырағанын көрсетеді.



Сурет-4. Синтез кезінде қолданылған сұлба.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. <http://optics.org/news/3/6/9>
2. <http://www.techweekeurope.co.uk/news/quantum-dots-pave-way-for-flexible-displays-49352>
3. V.I. Klimov, A.A. Mikhailovsky, S. Xu, A. Malko, J.A. Hollingsworth, C.A. Leatherdale, H.-J. Eisler, M.G. Bawendi. // *Science*. 2000. V.290. P. 314 – 317.
4. C. Dang, J. Lee, C. Breen, J.S. Steckel, S. Coe-Sullivan, A. Nurmikko. // *Nature Nanotechnology*. 2012. V. 7. P. 335 – 339.
5. M. Zhang, A. Banerjee, C.-S. Lee, J.M. Hinckley, P. Bhattacharya. // *Appl. Phys. Lett.* 2011. V. 98. P. 221104-3.
6. *Quantum Dots: research, technology and applications*. Ed. by R.W. Knoss. Nova Science Publishers, Inc. New York. 2008.
7. N. Zhao, T. P. Osedach, L.-Y. Chang, S.M. Geyer, D. Wanger, M.T. Binda, A.C. Arango, M.G. Bawendi, V. Bulovic // *ACS Nano*. 2010. V. 4. P. 3743 – 3752.
8. J. Chen, J.L. Song, X.W. Sun, W.Q. Deng, C.Y. Jiang, W. Lei, J.H. Huang, R.S. Liu. // *Applied physics letters*. 2009. V. 94. P. 153115-3.
9. N. Tessler, V. Medvedev, M. Kazes, S. Kan, U. Banin. // *Science*. 2002. V. 295. P. 1506 – 1513.
10. В.А. Олейников, А.В. Суханова, И.Р. Набиев. // *Российские нанотехнологии*. 2007. Т.2. №1-2. С.160 – 173.
11. J. Drbohlavova, V. Adam, R. Kizek, J. Hubalek. // *Int. J. Mol. Sci.* 2009. V. 10. P. 656 – 673.
12. W.W. Yu. // *Expert Opin. Biol. Ther.* 2008. V. 8. P. 1571 – 1581.
13. R. Gill, M. Zayats, I. Willner // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2008. V. 47. P. 7602 – 7625.
14. W.W. Yu, L. Qu, W. Guo, X. Peng. // *Chem. Mater.* 2003. V. 15. P. 2854 – 2860.
15. *Semiconductor nanocrystal quantum dots: synthesis, assembly, spectroscopy and applications*. Ed. by A.L. Rogach. Springer. New York. 2008. P. 311 – 347.
16. E.E. Lees, T.-L. Nguyen, A.H.A. Clayton, P. Mulvaney // *ACS Nano*. 2009. V. 3.P. 1121 – 1128.
17. E. Petryayeva, W. Russ Algar, Igor L. Medintz.// *Applied Spectroscopy*. 2013. V. 67.P. 215 – 252.
18. D.M. Willard, L.L. Carillo, J. Jung, A.V. Orden. // *Nano Lett.* 2001. V. 1. P. 469 – 474.
19. M. Bruchez, M. Moronne, P. Gin, S. Weiss, A.P. Alivisatos. // *Science*. 1998. V. 281.P. 2013 – 2016.
20. S.G. Ding, J.X. Chen, H.Y. Jiang, J. He, W.M. Shi, W.S. Zhao, J.Z. Shen. // *J. Agric. Food Chem.* 2006. V. 54. P. 6139 – 6142.