

ОМАРОВА ГУЛЬДЕН СЕРИКОВНА

Металл нанобөлшектерінің плазмондық эффектiсiнiң полиметин бояғыштарының спектрлiк-люминесценттiк және генерациялық сипаттамаларына әсерi

6D060400 – Физика мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесiне iздену үшiн ұсынылған диссертациясына

АННОТАЦИЯ

Қазiргi оптикалық спектроскопия мен люминесценцияның маңызды мiндеттерiнiң бiрi плазмондық нанобөлшектiң (НБ) бетiне жақын өтетiн, органикалық бояғыштар мен молекулалық ансамблдердегi фотофизикалық процестердi зерттеу болып табылады. Металл НБ бетiне жақын орналасқан, органикалық бояғыш молекулалары локалды электромагниттiк өрiстерге ұшырайды. Бұл жағдайда НБ пен органикалық молекулалар арасындағы қашықтыққа байланысты сәулеленетiн және сәулеленбейтiн молекулааралық электронды өтулердiң жылдамдығы не жоғарлайды, не төмендейдi. Бұл эффектiлердi оптикалық нанотехнологияда белгiлi бiр қасиеттерi бар ортаны құру кезiнде, сондай-ақ жоғары сезiмтал люминесценттi сенсорларда, оптоэлектрондық құрылғыларда, нанолазерлерде және т. б. қолдануға болады. Бояғыштардағы лазерлердiң белсендi ортасына металл НБ қосқан кезде, генерация шегiн төмендетуге әкеледi. Алайда, бұл эффектiлердiң практикалық маңыздылығына және әртүрлi бояғыштар үшiн байқалғанына қарамастан, қазiргi уақытқа дейiн құрылымына байланысты бояғыштардың спектрлiк-люминесценттiк қасиеттерiне металл НБ плазмоналарының әсер ету заңдылықтары зерттелмеген.

Полиметин бояғыштарының (ПБ) фотофизикалық процестерiнiң тиiмдiлiгiн жақсарту үшiн, плазмондық эффектiсiн қолдану ерекше тартымды. Полиметиндер белсендi және белсендi емес лазерлiк орта ретiнде кеңiнен қолданылады, себебi олар органикалық бояғыштар арасында спектрлiк-люминесценттiк және сызықты емес оптикалық қасиеттердiң өзгеруiнiң ең үлкен диапазонына ие. Мысалы, катионды бояғыштарда спектрдiң рекордтық ұзын толқын аймағында аса қысқа жарық импульстерi мен генерациясы алынды. Сондай-ақ, асыл металдардың локализацияланған плазмондық резонансын (ЛПР) қолдану арқылы, шектi төмендетуге және катионды полиметиндердiң лазерлiк сәулелену генерациясының сапасын жақсартуға болатындығы анықталды. Полиметиндердiң электрлiк бейтарап өкiлдерiнiң фотофизикалық қасиеттерiне – мероцианин бояғыштарға – НБ айтарлықтай әсер етуi мүмкiн екендiгi көрсетiлген.

Сонымен қатар, ПБ барлық көрiнетiн және жақын инфрақызыл аймақта жоғары экстинкция коэффициенттерi мен қайта құрылатын жұтылу спектрiне ие

болғандықтан, фотовольтаика үшін өте перспективті объектілер болып табылады. Атап айтқанда, қызығушылық бояғышпен сенсбилизацияланған күн элементтерінде басқа фотовольтаикалық элементтермен салыстырғанда өндіріс шығындарының төмендігімен, тұрақтылығымен, мөлдірлігімен және икемділігімен байланысты.

Күн ұяшықтарының тиімділігін арттыру үшін, металл НБ ЛПР құбылысын және оның бояғыш молекулалардың ішіндегі фотопроецестерге әсерін және жартылайөткізгіштің электрофизикалық параметрлерін жақсарту үшін қолдануға болады. Атап айтқанда, металл НБ мен нанокұрылымының күн ұяшығының шоғырлануын және жарық жинауын арттыру үшін, сонымен қатар металл НБ жарықтың шашырау эффектісін пайдалану үшін, жұмыс электродының ішіне де, сыртына да орналастыруға болады. Сонымен қатар, металл НБ ЛПР құбылысы күн ұяшықтарының спектрлік сезімталдығының жақсаруына әкеледі, сондай-ақ инжекция мен жартылайөткізгіш ішіндегі заряд тасушыларды тасымалдау тиімділігіне әсер етеді. TiO_2 қабыршағына плазмондық НБ енгізу, жартылайөткізгіштегі заряд тасушылардың қозғалғыштығының арттырады. Бұл жағдайда күн ұяшықтарының басқа жұмыс компоненттеріне кері әсерін ескермеуге болады.

Диссертациялық жұмыстың жаңалығы әртүрлі құрылымдағы ПБ электронды-қозған күйлерін генерациялау мен дезактивациялаудың плазмон-белсендірілген процестерін зерттеу болып табылады. Алынған нәтижелер молекулалық фотоника, фотовольтаика, фотокатализ және детектор құрылғыларындағы сипаттамалар мен дабылдарды плазмондық модуляциялаудың жаңа әдістерін құруға ғылыми негіз бола алады. Мұндай өзара әрекеттесу шарттарын бақылау мүмкіндігі көптеген жаңа нанокұрылымдарды қалыптастыруға, нанобъектілерге тән жаңа құбылыстар мен қасиеттерді зерттеуге және осының негізінде жаңа функционалды материалдар мен құрылғыларды жасауға мүмкіндік береді.

Оптикалық құрылғыларды, жоғары тиімді люминесцентті жарық көздерін, наносенсорларды, молекулалық электрониканың функционалды элементтерін, фотовольтаикалық құрылғыларды және биофизиканы алу кезінде, ғылыми негіздерді құру үшін нәтижелерді пайдалануға болады.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты металл нанобөлшектерінің плазмондық эффектісінің ерекшеліктерінің әртүрлі химиялық құрылымдағы полиметин бояғыштарының спектрлік-люминесценттік, генерациялық және фотовольтаикалық сипаттамаларына әсерін зерттеу болып табылады.

Зерттеу нысанасы катионды индополикарбодицианиндер, функционалды сульфо-топтары бар ПБ, мероцианин және катионды электронды-симметриялық емес ПБ, Ag және Au плазмондық нанобөлшектері, Ag/TiO_2 «ядро/қабықша» нанокұрылымдары, TiO_2 қабыршақтары, бояғышпен сенсбилизацияланған күн ұяшықтары, Al_2O_3 кеуекті алюминий оксидінің қабыршақтары болып табылады.

Ғылыми жаңалық келесілерді қамтиды:

1. Катиондық симметриялы индополикарбоцианиндердің винологиялық қатарын қолдана отырып, бояғыштардың флуоресценциясының плазмондық күшеюінің бояғыш құрылымына, сонымен қатар Ag НБ мен ПБ жұтылу және флуоресценция жолақтарының спектрлік қабаттасуына тәуелділігі зерттелді. Органикалық бояғыштар молекулаларының қозған күйін дезактивациялауға плазмондық нанобөлшектің әсерін ескеретін, математикалық модель ұсынылған, ол эксперименттік мәліметтермен жақсы үйлеседі.

2. Ag/TiO₂ «ядро/қабықша» НҚ қосқан және қоспаған кездегі, сонымен қатар сульфотоптары бар ПБ енгізілген титан диоксиді қабыршақтарында спектрлік-люминесценттік және фотовольтаикалық қасиеттерге плазмондардың әсері функционалды бояғыштар үшін байқалады.

3. Этанол ерітіндісіндегі мероцианин бояғышының спектрлік-люминесценттік және генерациялық қасиеттеріне Ag НБ әсері зерттелген. Концентрациясы 10⁻⁴ моль/л мероцианин ерітіндісіне Ag НБ қосқан кезде, мәжбүрленген сәулеленуге тек қол жеткізуге болатындығы көрсетілді.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыстың құрылымы қойылған міндеттерге сай орындалып, кіріспеден, бес бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Диссертация машинкамен басылған 97 бетті құрайтын мәтіннен және 45 суреттен, 11 кестеден, 161 пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады.

Негізгі нәтижелерге мыналар жатады:

1. Флуоресценция қарқындылығының плазмондық күшею коэффициенті катионды симметриялық индополикарбоцианиндердің винологиялық қатарындағы полиметиндік тізбектің ұзаруымен артады. Флуоресценция қарқындылығының артуының негізгі себебі, металл НБ бар кезде бояғыш молекулаларының флуоресценция жылдамдығының жоғарылауы болып табылады. Бояғыштардан Ag НБ Ферстер энергиясын тасымалдау плазмон-күшейтілген флуоресценцияға қатысты бәсекелес процесс болып табылады.

2. Бояғыштармен сенсбилизацияланған күн ұяшықтарының тиімділігі Ag/TiO₂ нанокұрылымдарын қосқан кезде ұяшықтардың спектрлік сезімталдығының артуына байланысты және жартылайөткізгішті функционалды топтары бар ПБ сенсбилизациялаған кезде артады.

3. Плазмондық металл НБ қосқан кезде жарықтың жұтылу қимасының артуы және ПБ флуоресценциясының кванттық шығуының жоғарылауы байқалады, бұл бояғыштың мәжбүрленген сәулеленуінің генерация шегінің төмендеуіне әкеледі.

Жұмыстың ғылыми-тәжірибелік маңыздылығы:

1. Әртүрлі құрылымдағы ПБ фотоникасына плазмондық металл НБ әсерін кешенді теориялық және эксперименттік зерттеу, синтезделген нанокұрылымдың физика-химиялық қасиеттерін болжауға мүмкіндік береді, бұл белгілі бір қасиеттері бар жаңа материалдарды жасау кезінде маңызды.

2. Органикалық фотовольтаикалық құрылғылармен күн сәулесін түрлендірудің тиімділігін арттыру үшін, плазмондық наноқұрылымдардың ПБ сенсификацияланған күн ұяшықтарының тиімділігіне әсері бойынша эксперименттік мәліметтерде қолданылады.

3. Локализацияланған беттік резонанс негізінде реттелетін лазерлердің белсенді элементтерін іске асыру үшін, органикалық бояғыштардың мәжбүрленген люминесценциясына металл НБ әсері туралы деректер пайдаланылуы мүмкін.

Жұмыстың апробациясы және мақалалар. Жұмыстың негізгі нәтижелері келесідей халықаралық конференцияларды баяндалып, талқыланды: Конференцияның негізін қалаушы профессор Т.А.Көкетаевтың 80 жылдығына арналған, XIV Халықаралық ғылыми конференциясы «Қатты дене физикасы, функционалдық материалдар және жаңа технологиялар (ҚДФ-2018)» (2018, Бішкек-Қарағанды); Профессор Ж.С.Ақылбаевтың 80 жылдығына арналған Республикалық ғылыми-тәжірибелік конференция «Жылу энергетика және қолданбалы жылуфизиканың өзекті мәселелері» (2018, Қарағанды); X Халықаралық конференциясы «Оптиканың іргелі мәселелері – 2018» (2018, Санкт-Петербург); The 7th International Conference on nanomaterials and advanced energy storage systems «INESS-2019» (2019, Алматы); 11-ші Халықаралық ғылыми конференция «Бейсызық жүйелердегі хаос және құрылымдар. Теория және эксперимент» (2018, Қарағанды); The 8th International Conference on nanomaterials and advanced energy storage systems «INESS-2020» (2020, Нұр-Сұлтан); IX халықаралық конференция «Фотоника және ақпараттық оптика» (2020, Мәскеу); Көрнекті ғалым, физика факультетінің алғашқы деканы, педагогика ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан Педагогика ғылымдары академиясының академигі Арынғазин Қанапия Мұбаракұлының 85 жылдығына арналған Республикалық ғылыми-практикалық онлайн конференция «Заманауи физика мен мағыналық педагогиканың өзекті мәселелері» (2021, Қарағанды).

Мақалалар. Диссертациялық жұмыстың қорытындысы бойынша 17 баспа жұмысы жарияланды: Thomson Reuters және Scopus базасына кіретін журналдарда 4 мақала (1 мақала Journal of Luminescence, IF – 3.28, Q1; 1 мақала Optics and Spectroscopy, IF – 0.748, Q4; 1 мақала Engineered Science, Процентиль, Scopus 99; 1 мақала Materials Today: Proceedings, Процентиль, Scopus 38); РФДИ деректер базасына кіретін журналдарда 2 мақала, ҚР БҒМ Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған журналдарда 2 мақала және халықаралық конференциялар материалдарында 9 мақала жарияланды.