

**ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ

ШАЙМАРДАНОВ ЗАФАР ШАПААТОВИЧ

**СУНЪИЙ ОПАЛ ВА УНИНГ АСОСИДАГИ НАНОКОМПОЗИТЛАР
ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯСИ ХУСУСИЯТЛАРИ ВА ФОТОНЛИ
ТАҚИҚЛАНГАН ЗОНАСИ**

01.04.05 – Оптика

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2018

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации
доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам**

**Contentsof the abstract of dissertation of the doctor of philosophy (PhD) on
physical-mathematical sciences**

Шаймарданов Зафар Шапаатович

Сунъий опал ва унинг асосидаги нанокөмпозитлар люминесценцияси
хусусиятлари ва фотонли тақиқланган зонаси 3

Шаймарданов Зафар Шапаатович

Люминесцентные свойства и фотонная запрещенная зона
искусственного опала и нанокөмпозитов на его основе 23

Shaymardanov Zafar Shapaatovich

Luminescence properties and photonic band gap of artificial opal and
nanocomposites made on its basis 41

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works..... 44

**ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ

ШАЙМАРДАНОВ ЗАФАР ШАПААТОВИЧ

**СУНЪИЙ ОПАЛ ВА УНИНГ АСОСИДАГИ НАНОКОМПОЗИТЛАР
ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯСИ ХУСУСИЯТЛАРИ ВА ФОТОНЛИ
ТАҚИҚЛАНГАН ЗОНАСИ**

01.04.05 – Оптика

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2018

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.4.PhD/FM158 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ион-плазма ва лазер технологиялари институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси (www.iplt.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziynet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Курбанов Саидислам Саидгазиевич

физика-математика фанлари доктори, катта илмий ходим

Расмий оппонентлар:

Семенов Денис Иванович

физика-математика фанлари доктори, доцент

Ахмаджанов Тургунали

физика-математика фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот:

Тошкент давлат техника университети

Диссертация ҳимояси Ион-плазма ва лазер технологиялари институти ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил «___» _____ соат ___ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел./факс:(+99871) 262-32-54, e-mail:info@iplt.uz, Ион-плазма ва лазер технологиялари институти мажлислар зали.

Диссертация билан Ион-плазма ва лазер технологиялари институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (___ рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел: (+99871) 262-31-69.

Диссертация автореферати 2018 йил «___» _____ куни тарқатилди.

(2018 йил «___» _____ даги _____ рақамли реестр баённомаси)

Х.Б.Ашуров

илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
раиси, т.ф.д., катта илмий ходим

Д.Т.Усманов

илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
илмий котиби, ф.-м.ф.н.

Б.Е.Умирзаков

илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
қошидаги илмий семинар раиси, ф.-м.ф.д.,
профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Ҳозирги вақтда жаҳонда нанофизика ва нанотехнология соҳасидаги тадқиқотлар умумий ғоялари, моделлари ва тадқиқот усуллари билан ягона йўналиш сифатида шаклланган. Нанотехнологиялар асосида яратилган наноўлчамли материаллар квазиклассик назария билан тавсифланадиган ҳажмли материаллардан кескин фарқ қилади. Қаттиқ нанокөмпозитларни яратиш учун матрица сифатида фойдаланилаётган энг оммабоп материаллардан бири бу сунъий опалдир. Бу оммабоплик унинг структураси билан боғлиқ бўлиб, сунъий опал зич жойлашган монодисперс аморф кремний диоксиди шарларидан ташкил топган, шарлар орасида наноўлчамли ғоваклар ва каналлар мавжуд. Бундан ташқари, сунъий опал кўринувчи ёруғлик соҳаси учун уч ўлчамли фотон кристаллидир. Фотон кристаллари оптик компьютерларни яратишига йўл очиши керак бўлган оптик интеграл схемаларда асосий элемент сифатида кенг қўлланилиши кутилмоқда ва бу соҳадаги йўналишнинг муҳим вазифаларидан бири бўлиб қолмоқда.

Ҳозирги кунда жаҳонда, оддий наноматериаллар билан бир қаторда органик ва ноорганик нанокөмпозитлар жаҳонда кўплаб тадқиқотчиларнинг диққат марказида бўлиб, бу уларнинг ноқизиқли оптика, қаттиқ жисмли лазерлар, оптик хотира элементлари, телекоммуникация, молекуляр қуёш батареялари, тиббиёт, биосенсорлар ва бошқа соҳаларда истиқболли қўлланилиш имкониятлари борлиги билан тушунтирилади. Нанокөмпозитларни яратишда нанокөмпозит хоссаларини кўп жихатдан белгилайдиган опал ғовакларига киритилган элемент атомлари билан матрица сиртидаги атомларнинг ўзаро таъсири катта аҳамиятга эга. Шунга кўра, ҳозирги кундаги долзарб муаммолардан бири бу – сунъий опаллар сиртидаги ютилиш ва нурланиш марказларининг табиатини ҳамда бу марказларнинг опал ғовакларига киритилган элемент атомлари билан ўзаро таъсирлашиш механизмларини тадқиқ қилиш муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

Республикада охириги йилларда фундаментал ва амалий тадқиқотларнинг долзарб илмий йўналишларига эътибор сезиларли даражада кучайтирилди, хусусан янги материалларни яратиш ва уларни амалиётга тадбиқ этишга катта эътибор қаратилмоқда. Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси илмий тадқиқот институтларида кремний диоксиди наноструктураларининг (нанозарралар, нанородлар, наносимлар, нанодисклар, ғовак шишалар ва сунъий опаллар) люминесценция ва структуравий хусусиятларини тадқиқ этиш ишлари олиб борилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантиришнинг Ҳаракатлар стратегиясида илмий-тадқиқот ва инновацион фаолиятларни рағбатлантириш, илмий-инновацион ютуқларни амалиётга тадбиқ этишнинг самарали механизмларини ишлаб чиқиш вазифалари кўрсатиб ўтилган. Бу борада фотон кристалли хусусиятига эга бўлган сунъий опални ва у асосида яратилган нанокөмпозитларни оптик интеграл схемаларда асосий элементлар сифатида кенг қўлланилиш имкониятларини тадқиқ этиш, уларни амалиётга тадбиқ этиш бу йўналишда муҳим аҳамият касб этади. Бу масалалар

нафақат илмий фундаментал, балки амалий жиҳатдан ҳам катта қизиқиш уйғотади ва диссертация мавзусининг долзарблигини белгилайди.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ–4947-сон «2017–2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар Стратегиясини амалга ошириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Фармони, 2015 йил 15 декабрдаги ПҚ–1442-сон «2011–2015 йилларда Ўзбекистон Республикасининг индустриясини ривожлантиришнинг устувор йўналишлари тўғрисида», 2017 йил 17 февралдаги ПҚ–2789-сон «Фанлар Академияси фаолияти, илмий тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Тадқиқот иши республика фан ва технологиялари ривожланишининг: II. «Физика, астрономия, энергетика ва машинасозлик» асосий устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Кремний диоксидадаги ютилиш ва люминесценция марказларининг табиати ҳамда уларнинг пайдо бўлиш механизмларининг тадқиқ этилиши АҚШ олимлари D.L. Griscom, G.N. Greaves, E.J. Friebele ва G.H.Jr. Sigil, Латвия олимлари A.N. Trukhin ва L.N. Skuja, Россия олимлари A.B. Амосов, A.Г. Боганов, С.М. Бреховских ва бошқалар томонидан олиб борилган назарий ва тажрибавий ишларда ўз аксини топган. Бу ишларда кремний диоксиди тўридаги ҳажмий хусусий нуқсонлар идентификация қилинган ва назарий жиҳатдан тушунтирилган. Ўзбекистонлик олимлар Ш.А.Вахидов, М.А.Қосимжонов, М.Ф.Ачилов, О.В.Трунилина ва С.С.Қурбоновнинг бир қатор ишларида ҳам кремний диоксиди ҳажмида юзага келадиган нуқсонлар ва юқори тозалikka эга бўлган оптик шишаларда спектрнинг яқин ультрабинафша ва кўринувчи соҳаларидаги нурланиш билан уйғотиладиган люминесценция ўрганилган, кузатилган люминесценциянинг структуравий нуқсонлар ва аралашма атомларидан ташкил топган комплекслар билан боғлиқлиги кўрсатилган. Кремний диоксиди наноструктураларининг люминесценция хусусиятларини тадқиқ этиш (нанозарралар, нанородлар, наносимлар, нанодисклар ва ғовак шишалар) нисбатан яқинда бошланган ва асосан кукунсимон кремний диоксиди нанозарраларига бағишлангандир. Япония олимлари T.Yamada, T.Uchino, Италия олимлари G.Vaccaro, S.Agnello, Хитой олимлари Qing Wei, Guowen Meng, Ҳиндистон олимлари Subhasree Banerjee, Anindya Datta ва Россия олими Ю.Д.Глинка ишларида кукунсимон кремний диоксиди нанозарраларида ва тартибли жойлашган кремний диоксиди шарларидан ташкил топган сунъий опалларда 400 ва 500 нм тўлқин узунлиги соҳаларида жойлашган люминесценция полосаларининг кузатилганлиги эълон қилинган. Бу люминесценция полосаларининг аниқ қайси нуқсонларга мансублиги ва табиати, уларнинг тузилиши ҳақидаги фикрларда қарама-қаршилиқлар мавжуд. Гарчи бир қанча муаллифлар

(G.Vassaro va S.Agnello) бу люминесценция полосалари сирт марказлари билан боғлиқ бўлиши мумкин деб ҳисобласалар ҳам, ҳозирги вақтгача улар идентификация қилинмаган ва сунъий опалларда уларнинг хоссаларини тадқиқ қилиш комплекс тарзда олиб борилмаган.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация иши Ион-плазма ва лазер технологиялари институти: ФА-Ф2-Ф083 «Кристалл наноструктуралар ва наносуспензияларнинг индуцирланган оптикавий ва нозизиқ оптикавий хоссаларини тадқиқ этиш» (2007–2011 йй.), №56/04 «Сунъий опалларнинг фотонли тақиқланган зонаси ва унинг хусусий люминесценциясига ва киритилган нурланиш марказларига таъсири» (2004–2005 йй.), №63-06 «Сунъий опалларнинг наноўлчамли ғоваклари ва фотонли тақиқланган зонасининг рух оксиди структуравий ва оптик хусусиятларига таъсирини тадқиқ этиш» (2006–2007 йй.), №42-08 «Сунъий опаллар сирт нуқсонларининг люминесценцияси ва уларни ўраб турган муҳит билан ўзаро таъсирлашишида ўзгариши» (2008–2009 йй.), №17-10 «Сунъий опалларда юқори ҳароратда қиздиришдан кейин пайдо бўладиган люминесценциянинг секин ташкил этувчисини тадқиқ этиш» (2010–2011 йй.), №Ф.12-10 «ZnO нанородлари матрицасининг эмиссион хусусиятларига уйғотувчи нурланиш кувватининг ва уйғотиш шароитининг таъсирини тадқиқ этиш» (2012–2013 йй.) илмий лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади сунъий опалларнинг сирт нурланиш марказларининг табиатини, опал ва унинг бўшлиқларига киритилган элементлар люминесценциясининг спектрал-кинетик хоссаларига фотонли тақиқланган зонасининг таъсирини аниқлашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

сунъий опал тузилишини тадқиқ этиш, фотонли тақиқланган зонаси ўрнининг шарлар диаметрига, нурнинг тушиш бурчагига, опал ғовакларининг тўлдирилганлигига ва материал турига боғлиқлигини аниқлаш;

сунъий опаллар люминесценциясининг спектрал-кинетик хусусиятларини уларни тозалаш усули ва даражасига, температураси ва опал ғовакларига киритилган материалларга боғлиқлигини тадқиқ этиш;

сунъий опал ғовакларини турли материаллар билан тўлдириш йўли билан нанокомпозитлар яратиш;

сунъий опал ғовакларини турли материаллар билан тўлдириш орқали яратилган нанокомпозитларнинг фотонли тақиқланган зонаси ўзгаришини тадқиқ этиш;

сунъий опал ғовакларига киритилган материаллар билан сирт марказларининг ўзаро таъсирлашиши натижасида нанокомпозитларда опал матрицаси люминесценциянинг кучайиши ёки сўниши ходисаларини тадқиқ қилиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида кремний диоксидининг турли ўлчамдаги наношарларидан ташкил топган ва фотонли тақиқланган зонаси ҳолати турлича бўлган сунъий опал намуналари танланган.

Тадқиқотнинг предмети сунъий опалларнинг ва улар асосида яратилган нанокомпозитларнинг нур қайтариш, ўтказиш ва люминесценция спектрлари ва люминесценция спектрларига ташқи омилларнинг таъсирларини ўрганишдан иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Сунъий опаллар ва улар асосидаги нанокомпозитларнинг люминесценция, нур ўтказиш ва қайтариш спектрлари МДР – 23 монохроматори асосида яратилган спектрал комплексида тадқиқ этилган. Спектрлар синхрон детекторлаш ва бокскар интеграллаш усулларида қайд қилинган. Уйғотувчи манба сифатида узлуксиз ва даврий – импульсли ультрабинафша ва кўринувчи соҳадаги лазерлар, шунингдек чўғланма лампалар қўлланилган. Намуналарнинг структураси ва тузилиши ўтувчи электрон микроскоп (TEM LEO – 912AB, Ион-плазма ва лазер технологиялари институти) ва сканловчи электрон микроскоп (PHILIPSLX – 30, Донггук унивеситети, Корея Республикаси) ёрдамида тадқиқ этилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

сунъий опал намуналарида спектри 400 ва 500 нм тўлқин узунликларида жойлашган максимумларга эга, уйғотувчи ёруғлик тўлқин узунлигидан 700 нм тўлқин узунлигигача давом этадиган ва сўниш давомийлиги ноэкспоненциал қонунга бўйсунадиган люминесценция аниқланган;

сунъий опал намуналари ҳароратининг ортиши, юқори ҳароратда ҳавода ва вакуумда қиздириш асосан 500 нм тўлқин узунлигида жойлашган люминесценция полосаси интенсивлигига таъсир қилиши аниқланган;

сунъий опални эритиш орқали олинган шаффоф шишасимон намунанинг люминесценция спектрида, одатда сунъий опалларга тегишли 500 нм тўлқин узунлигида жойлашган люминесценция полосасининг йўқолиши кузатилган;

кукунсимон наноўлчамли аморф диоксид кремний зарралари ультрабинафша нур таъсирида максимумлари ~460 ва ~530 нм тўлқин узунликларида жойлашган люминесценция намоён қилиши, нанозарралар сирт майдонининг камайиши эса қисқа тўлқин узунлигида жойлашган люминесценция полосасининг интеграл интенсивлигининг ўсишига ва узун тўлқин узунлигида жойлашган люминесценция полосасининг камайишига олиб келиши аниқланган;

сунъий опал ғовақларига органик бўёқ киритилиши опалларнинг сирт марказларидан бўёқ молекулаларига уйғотилиш энергиясининг узатилиши натижасида опал хусусий люминесценциясининг сўниши аниқланган;

сунъий опал – рух оксиди нанокомпозитларида рух оксиди нанокристалларидан сунъий опални ташкил қилган кремний диоксиди шарлари сиртида жойлашган нурланиш марказларига уйғотувчи энергиянинг узатилиши ҳисобига рух оксиди экситон люминесценциясининг сўниши топилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

Сунъий опал бўшлиқларига киритилган моддалар люминесценция хусусиятларига фотонли тақиқланган зонасининг таъсир қилиш механизмлари ва роли аниқланган;

кремний диоксиди наноструктуралари сирт нуқсонларининг юзага келиш механизмлари ва уларнинг оптик хусусиятларига турли ташқи омилларнинг таъсири топилган;

сунъий опал бўшлиқлари органик бўёқ ва рух оксиди нанокристаллари билан тўлдирилиб янги оптик хоссага эга бўлган нанокомпозитлар яратилган;

сунъий опал бўшлиқлари органик бўёқ ва рух оксиди нанокристаллари билан тўлдирилганда опал матрицаси фотон кристалли хоссасини йўқотмаслиги аниқланган;

сунъий опал асосдаги турли нанокомпозитларни моделлаштириш ва яратишни башорат қилишга ва ҳисобга олишга имкон берадиган сирт нуқсонлари таъсири билан боғлиқ бўлган эффектлар аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги сунъий опаллар ва у асосидаги нанокомпозитларнинг оптик ва структуравий хусусиятларини тадқиқ этишда замонавий тажрибавий қурилмалар ва ускуналардан фойдаланилганлиги ва олинган натижаларнинг юқори даражадаги такрорийлиги билан тасдиқланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шундан иборатки, улар кремний диоксиди сирт нурланиш марказлари хоссаларига тегишли маълумотлар базасини тўлдиради, кремний диоксиди сирт нуқсонлари тузилишини, жумладан, кремний диоксиди наноўлчамли шарларидан ташкил топган опал фотон кристаллари, уларнинг ғовакларига киритилган модда атомлари билан ўзаро таъсирлашиши физик механизмларини тушунтиришга ёрдам беради.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундан иборатки, улар сунъий опал асосида унинг ғовакларига турли материалларни киритиш йўли билан маълум оптик хоссага эга бўлган нанокомпозитларни яратишга, фотонли тақиқланган зонаси жойлашишини манипуляция қилишга ва ғовакларга киритилган элементларнинг люминесценция спектрларини ўзгартиришга имкон беради.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Сунъий опал ва унинг ғовакларига турли элементлар киритиш асосида яратилган нанокомпозитлар оптик ва структуравий хоссаларини ўрганиш натижалари асосида:

сунъий опал асосида яратилган нанокомпозитларда органик бўёқ ва матрица ўртасидаги энергия узатиш ходисасини ўрганиш натижалари хорижий журналларда (Chemistry of Materials 19, 5547-5552, 2007, IF: 9.466; Physical Chemistry C 114, 2403–2413, 2010, IF: 4.536; Colloid and Interface Science 357, 322–330, 2011, IF: 4.233) органик бўёқ Родамин 6Ж асосли нанокомпозитларда олинган натижалар билан қиёслашда, уларни тушунтириш ва таҳлил қилиш учун фойдаланилган. Илмий натижалардан фойдаланиш Родамин 6Ж асосли нанокомпозитлар оптик хусусиятларини яхшилашга имкон берган;

рух оксиди нанокристалларини синтез қилиш ва улар люминесценция полосаларининг нанокомпозитларда ўзгаришига доир натижалар хорижий журналларда (Physical Chemistry Chemical Physics-Royal Society of Chemistry 19, 27081, 2017, IF: 4.123; Applied Physics 123, 085702, 2017, IF: 2.04; Materials

Science Materials in Electronics 28, 1605–1611, 2017, IF: 1.3) рух оксиди наноструктураларини синтез қилишда ва уларни қуёш элементларини яратишда қўллаш имкониятларини ўрганишда, кузатилаётган люминесценция полосаларининг табиатини тадқиқ қилишда олинган натижаларни таҳлил қилиш ва тушунтириш учун фойдаланилган. Илмий натижалардан фойдаланиш индий киритилган рух оксиди наноструктураларида кузатилган бинафша люминесценция полосасини рух вакансияси нуқсонлари билан боғлашга имкон берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация ишининг асосий натижалари 3 та халқаро ва 11 та республика миқёсидаги илмий-амалий анжуманларда маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 25 та илмий иш чоп этилган. Шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 11 та илмий мақола, жумладан 6 таси хорижий, 5 таси республика журналларида нашр этилган. Шунингдек халқаро ва республика анжуманлари тўпламларида 14 та маъруза эълон қилинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхати, 36 та расм ва 2 та жадвалдан ташкил топган. Диссертациянинг ҳажми 130 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Диссертациянинг **кириш** қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари тавсифланган, ишнинг объекти, предмети ва тадқиқот методларининг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологияларининг муҳим йўналишларига мослиги, илмий янгиликлар, натижаларнинг илмий амалий муҳимлиги келтирилган, натижаларнинг ишончлилиги асосланган ва уларнинг қўлланилиши борасида қисқа маълумот, натижалар апробацияси ва диссертация структураси келтирилган.

Диссертациянинг биринчи бобида шитасимон SiO_2 , унинг турли структуралари ва турли хил матрицалар асосидаги, жумладан, сунъий опал асосидаги нанокомпозитлар люминесценциясига бағишланган назарий ва экспериментал ишларнинг таҳлили келтирилган. Сунъий опалнинг фотон кристалли сифатидаги хоссалари, унинг бўшлиқларини тўлдириш йўли билан турли нанокомпозитлар яратишида уларнинг оптик хоссаларининг ўзгариши муҳокама қилинган. Нурланиш ва ютилиш марказларининг ўзига хос хусусиятлари ҳамда тузилиши ўрганилган, пайдо бўлиш механизмлари ва улар хоссаларининг турли омиллар таъсирида ўзгариши таҳлил қилинган. Адабиётлар таҳлилининг сўнггида ушбу диссертация ишининг асосий вазифалари ва мақсади шакллантирилган.

Диссертациянинг «**Экспериментал қурилмаларнинг хусусиятлари ва тадқиқ этиш усуллари**» деб номланган иккинчи боби тажриба методларига

бағишланган бўлиб, унда сунъий опал ва улар асосида яратилган нанокомпозитлар люминесценция, нур қайтариш ва ўтказиш спектрларини тадқиқ этиш учун мўлжалланган тажрибавий қурилмаларнинг тавсифлари келтирилган. Тадқиқ этилаётган объектларнинг характеристикалари, тажрибавий қурилмаларнинг ўзига хос хусусиятлари ва ишлаш принциплари баён қилинган.

Намуналарнинг нурларни ўтказиш ва қайтариш спектрларини ўрганиш учун мўлжалланган экспериментал қурилмада синхрон детекторлаш усули қўлланилган. Қурилма нур қайтариш ва ўтказиш спектрларини 200 – 1800 нм соҳада қайд қилиш имконини беради. Тадқиқ этилаётган намуна гониометрик столга ўрнатилган. Гониометрик столдан фойдаланиш намунани ўзининг ўқи атрофида буришга, натижада намунадан ўтувчи нур ва сунъий опал сиртига туширилган нормал орасидаги бурчакни ўзгартиришга имкон беради. Қайд қилиш схемасига унча кўп бўлмаган ўзгартириш киритиш орқали нур ўтказиш спектрини ўлчаш учун мўлжалланган тажрибавий қурилмани нур қайтариш спектрини ўлчаш қурилмасига осон айлантириш мумкин. Ўлчаш қурилмаси сунъий опал ва у асосидаги нанокомпозитларнинг нур қайтариш ва ўтказиш спектрларини, опал ва у асосидаги нанокомпозитларнинг фотонли тақиқланган зонаси жойлашишини аниқлашни ва бу спектрларнинг тушиш бурчагига боғлиқлигини тадқиқ этишни таъминлайди. Люминесценция спектрлари МДР – 23 монохроматори асосида яратилган экспериментал қурилмада тадқиқ этилди. Бу қурилма нафақат люминесценциянинг спектрал, балки кинетик хусусиятларини 300-800 нм бўлган соҳада тадқиқ қилиш имконини беради. Қурилма – катта қувватли импульсли ультрабинафша соҳасидаги N_2 – лазерни ((ЛГН – 505), $\lambda=337$ нм, $\tau\sim 6$ нс, $P\sim 15$ кВт, импульслар қайтарилиш частотаси 5-1000 Гц), спектрларни импульсни строблаш усулида қайд қилиш системасини (бокскаринтегратор ВСІ-280), бошқарув, маълумотларни қайта ишлаш ва сақлаш системаларини ўз ичига олади. Ҳамма жараёнлар – монохроматорни бошқариш, натижаларни таҳлил қилиш ва сақлаш компьютер ёрдамида олиб борилган.

Тажрибаларда диаметрлари ~ 195 , ~ 240 ва ~ 285 нм бўлган кварц шишашарлардан ташкил топган сунъий опал намуналаридан фойдаланилди. Улар Техасс университетининг «Нанотехнология» илмий марказида Штобер Финк-Бон жараёни асосида ТЭОС этанолда гидролиз қилиш йўли билан синтез қилинган. Намуналар (111) кристалл ўсиши йўналишига перпендикуляр равишда кесилган. Сунъий опал асосидаги нанокомпозитлар Родамин 6Ж органик бўёғининг спиртдаги эритмасини сингдириш йўли билан олинган. Бўёқ сингдирилгандан кейин нанокомпозитлар дастлаб ҳавода, сўнгра вакуумда 60°C ҳароратда бир неча соат давомида қурилган. Бўёқ эритмасидаги барча ўлчашлар кўндаланг кесими 1 см^2 бўлган тўғри бурчакли кварц кюветаларда олиб борилган.

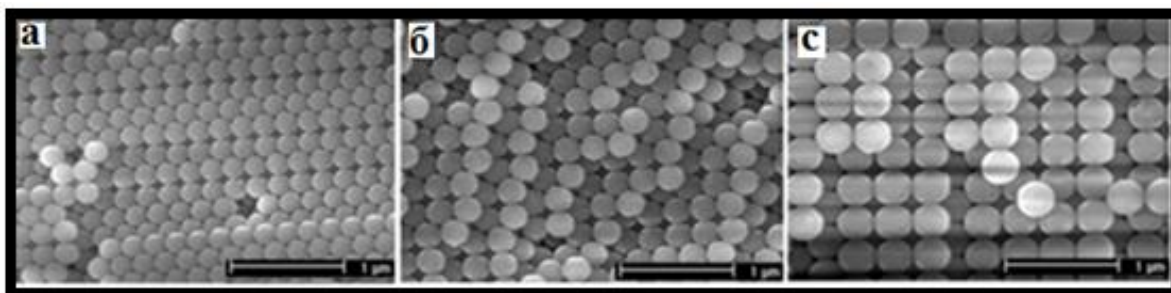
Опал бўшлиқларини рух оксиди нанокристаллари билан тўлдириш учун рух асетат дигидратнинг метил спиртидаги эритмасига дистилланган сув қўшиб кимёвий чўктириш усули танланган.

Рух оксиди нанокристалларининг синтези 24 соат давомида 63°C доимий ҳароратда амалга оширилган. Опал ғовакларини рух оксиди билан тўлдирилиш даражасини ошириш учун жараён бир неча марта такрорланган. Ҳар бир жараёндан сўнг опалнинг икки сирти сиртга ўтирган рух оксидини олиб ташлаш учун механик равишда силлиқланган. Ўлчаш учун ғоваклари рух оксиди билан тўлдирилиб тайёрланган опал намуналари ўлчамлари $10 \times 5 \times 0.3 \text{ мм}^3$.

Намуналарнинг тузилиши ва структураси Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси Ион-плазма ва лазер технологиялари институтининг ноёб илмий объектида мавжуд бўлган ўтувчи электрон микроскопи (ТЕМ LEO – 912AB) ва Корея Республикаси Донггук университетининг квант – функционал яримўтказгичлар илмий тадқиқот маркази сканловчи электрон микроскопи (SEM, XL – 30 PHILIPS) ёрдамида тадқиқ этилган.

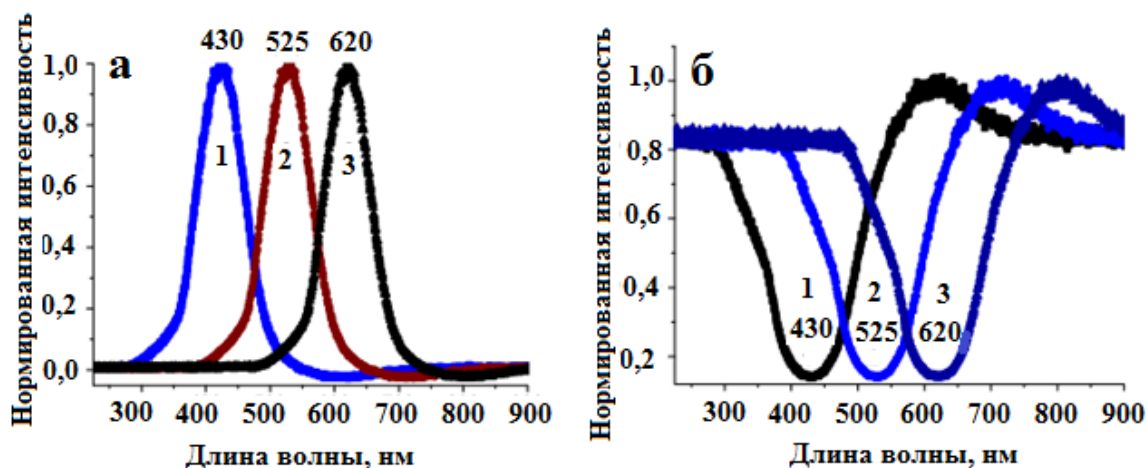
Диссертациянинг «Сунъий опал оптик хоссаларига ва унинг люминесценциясига ташқи омилларнинг таъсирини тадқиқ қилиш» деб номланган учинчи бобида сунъий опалларнинг структураси, фотонли тақиқланган зонаси хоссалари ва параметрлари, люминесценцияси ва унинг спектрига турли ташқи омиллар таъсирларининг экспериментал тадқиқот натижалари келтирилган. Ҳамда кукунсимон кремний диоксиди люминесценцияси интенсивлигига сирт майдонининг таъсири муҳокама қилинган тадқиқот натижалари баён қилинган.

Тадқиқ этилган опал намуналарининг сканловчи электрон микроскопда олинган микротасвирлари 1-расмда келтирилган. Наношарлар тартибли ва зич жойлашган, бу уларнинг яхши сифатли эканлигидан далолатдир. Фотонли тақиқланган зонасини ёруғликни қайтариш ва ўтказиш спектрларини ўлчаш йўли билан аниқлаш сунъий опаллар хусусиятларини тавсифлаш учун энг самарали усулдир.



1-расм. Наношарларининг ўлчамлари (а) ~195 нм, (б) ~240 нм ва (с) ~285 нм бўлган опалларнинг сканловчи электрон микроскоп ёрдамида олинган микротасвирлари.

Опал фотонли тақиқланган зонаси нур қайтариш (ўтказиш) спектрида аниқ ифодаланган максимум (минимум) сифатида намоён бўлади. 2-расмда кичик бурчакда қайд қилинган нурнинг кўзгули қайтариш спектри (а) ва бурчак нолга тенг бўлганда олинган ўтказиш спектрлари (б) келтирилган. Кузатилган интенсив нур қайтариш максимуми ва нур ўтказиш минимумлари опалнинг даврий уч ўлчамли тартибли структурасидан электромагнит тўлқинларнинг Брегг дифракцияси натижасидир.



2- расм. Тадқиқ этилган шарларининг диаметрлари ~195 нм (1), ~240 нм (2) ва ~285 нм (3) бўлган опалларнинг кўзгусимон нур қайтариш (а) ва нур ўтказиш спектрлари (б).

Брегг-Вульфнинг комбинацияланган дифракция қонуни сунъий опаллар учун қуйидагича кўринишга эга:

$$2 \times 0.816 D ((n_{\text{эфф}})^2 - \sin^2 \theta)^{1/2} = k \lambda$$

бунда D -микрошарлар диаметри, θ -тушувчи нур ва нур тушаётган сиртга ўтказилган нормал орасидаги бурчак, k -дифракция тартиби ($k = 1, 2, 3$), λ -нур тўлқин узунлиги, $n_{\text{эфф}}$ -опалнинг эффектив нур синдириш кўрсаткичи. Опалнинг ғовақлари бўш ҳолатда, яъни шарлар орасида фақат ҳаво бўлганда ва бўшлиқлар умумий ҳажмининг 26% ташкил қилади деб фараз қилинганда, $n_{\text{эфф}}$ қуйидаги формула асосида аниқланади:

$$n_{\text{эфф}} = 0.74 n_{\text{SiO}_2} + 0.26 n_{\text{ҳаво}}$$

бу ерда n_{SiO_2} ва $n_{\text{ҳаво}}$ мос равишда кварц шишаси ва ҳавонинг нур синдириш кўрсаткичлари. Қийматларни қўйиб: $n_{\text{SiO}_2} \sim 1.45$, $n_{\text{ҳаво}} = 1$ қуйидаги натижани оламиз $n_{\text{эфф}} = 1.333$.

Юқорида келтирилган формулалардан шарларнинг D диаметрини ҳисоблашимиз мумкин:

$$D_1 = \frac{k \lambda_1}{2 * 0,816 * \sqrt{n_{\text{эфф}}^2 - \sin^2 \theta}}$$

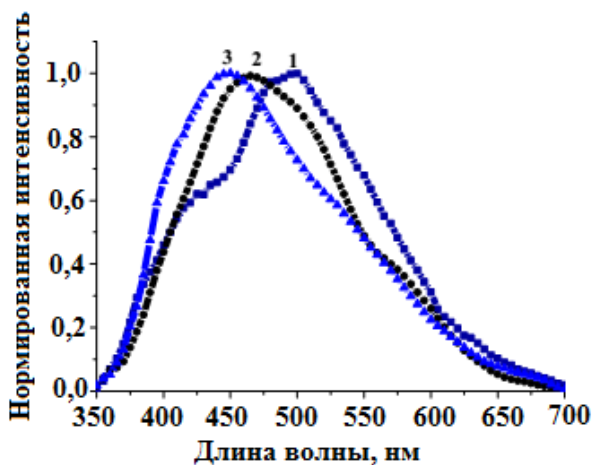
$$D_2 = \frac{k \lambda_2}{2 * 0,816 * \sqrt{n_{\text{эфф}}^2 - \sin^2 \theta}}$$

$$D_3 = \frac{k \lambda_3}{2 * 0,816 * \sqrt{n_{\text{эфф}}^2 - \sin^2 \theta}}$$

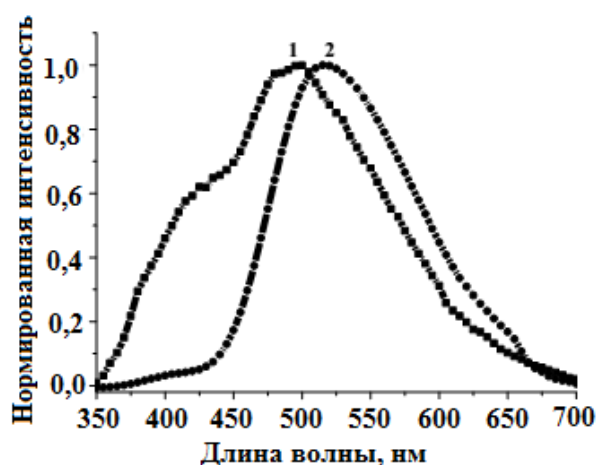
Қийматларни қўйиб: $n_{\text{эфф}} = 1.333$, $\lambda_1 = 430$ нм, $\lambda_2 = 525$ нм, $\lambda_3 = 620$ нм ва нормал тушаётган $\theta = 0$ нурдан дифракциянинг биринчи тартиби $k = 1$ учун

$D_1 = 198$ нм, $D_2 = 241$ нм ва $D_3 = 286$ нм қийматларни оламиз. Кварц шарларининг бу ҳисобланган қийматлари, сканловчи электрон микроскоп ёрдамида олинган қийматлар билан мос келади.

Тадқиқ этилган барча опал намуналарида N_2 -лазери (337 нм) нури таъсирида максимумлари 400 ва 500 нм да жойлашган, уйғотиш чизиғидан 700 нм гача давом этувчи кенг спектрли люминесценция кузатилади. Люминесценция экспоненциал бўлмаган тарзда сўнади. У тез ва секин компонентлардан ташкил топган. Интенсив тез компонентанинг давом этиш вақти импульснинг ярим кенглигида 9 нс дан катта эмас ва кучсиз секин компонентанинг давом этиш вақти эса 1 мкс дан катта. Турли опалларга тегишли бўлган люминесценция спектрлари бир-биридан қисқа ва узун тўлқин узунликлардаги полосаларининг интенсивлиги нисбатлари билан фарқ қилади. 3-расмда шарларининг диаметрлари турли хил бўлган сунъий опаллар тез компоненталари люминесценция спектрлари келтирилган.



3-расм. Шарларининг диаметрлари ~195 нм (1), ~240 нм (2) ва ~285 нм (3) бўлган опалларнинг люминесценция спектрлари.



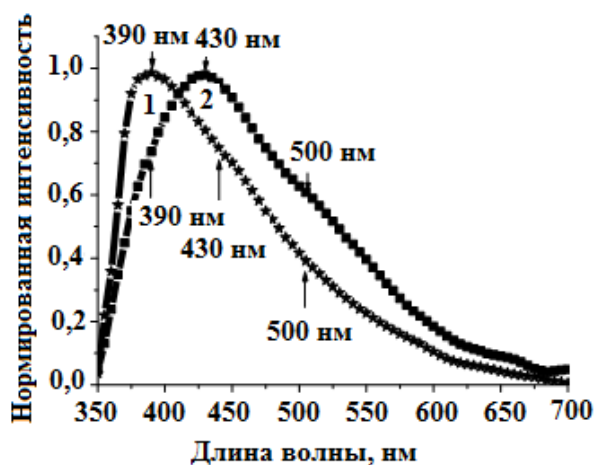
4-расм. Шарларининг диаметри ~195 нм бўлган опалнинг «қайтариш» (1) ва «ўтказиш» (2) схемалари бўйича қайд қилинган люминесценция спектрлари.

Сунъий опаллар зич жойлашган кремний диоксиди шарларидан ташкил топган бўлсада уларнинг люминесценция хусусиятлари шу каби массив шишасимон кремний диоксидиникидан фарқ қилади. Олиб борилган тадқиқотлар кўрсатдики, фотонли тақиқланган зонаси туфайли сунъий опаллар люминесценциясининг спектри ва интенсивлиги қайд қилиш геометриясига боғлиқ.

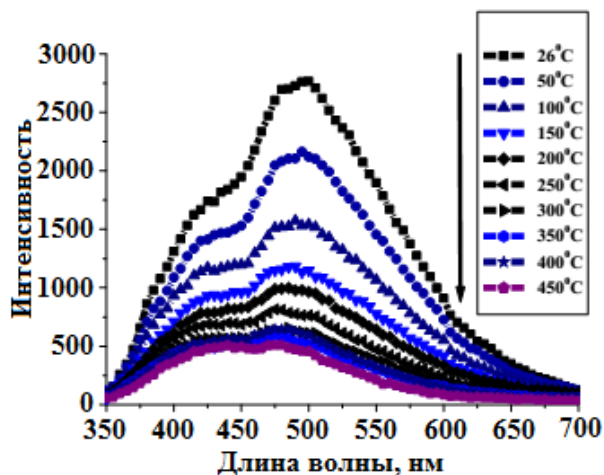
Люминесценция спектри «ўтувчи» нурда (бунда люминесценция уйғотувчи нур йўналишида қайд қилинади ва фотоқабулқилгичга опал орқали ўтган нурланиш тушади) ва «қайтган» нурда (бунда фотоқабулқилгичга опал сирт қатламига уйғотилган нурланиш тушади) қайд қилинганда унга фотонли тақиқланган зонаси (ФТЗ) нинг таъсирини кузатиш мумкин. Кейинги ҳолатда опал люминесценцияси сиртга яқин қатламда уйғотилганлиги ва у кремний диоксиди шарларининг нисбатан кам қатлами орқали ўтагани учун унинг спектрига фотонли тақиқланган зонасининг таъсири жуда кам бўлади. 4-расмда опалнинг «қайтган» ва «ўтувчи» нур геометрияларида олинган люминесценция

спектрлари кўрсатилган. Расмдан «қайтган» нур режимида олинган люминесценция спектри 430 ва 500 нм атрофида иккита максимумга эгаллигини, «ўтувчи» режимида эса фақат битта 500 нм тўқин узунлигида жойлашган максимум мавжудлиги ва спектрнинг 430 нм қисқа тўқин узунликли қисми кучли сўндирилганлигини кўриш мумкин. Бу сўндирилган қисм ФТЗ жойлашиши соҳаси билан мос келади. Шундай қилиб, опалдаги ФТЗ 430 нм соҳасида шу тўқин узунликдаги люминесценциянинг тарқалишига тўқинлик қилади, энергиялари ФТЗ дан катта ёки кичик бўлган фотонларга ФТЗ таъсир қилмайди ва улар опалда қаршиликсиз тарқаладилар.

Аниқландики, кузатилаётган люминесценция опал сирти ҳолатига жуда сезгир намуналарни турли суюқликларда ювиб тозалаш 500 нмда жойлашган катта тўқин узунликдаги люминесценция полосаси интенсивлигининг камайиши ҳисобига юз берадиган спектр шаклининг ўзгаришига олиб келади. 5-расмда опалларни ювишдан олдинги (1) ва бензолда, спиртда, водород периксида ва дистилланган сувда кетма-кет ювилгандан кейин қайд қилинган (2) люминесценция спектрлари келтирилган. Тозаланмаган опал спектрал максимумлари 390, 430 ва 500 нмда жойлашган учта люминесценция полосаларидан ташкил топган мураккаб спектрга эгаллиги кўриниб турибди. Ювиб тозалангандан кейин тўқин узунлиги катта бўлган полосанинг спектрдаги ҳиссаси камаяди ва қисқа тўқин узунликдаги қисминики эса ортади. Тадқиқотлар кўрсатдики, опал люминесценцияси ҳарорат таъсиридаги сўнишга мойил. Опал ҳароратининг ошиши люминесценция интенсивлигининг камайишига олиб келади. 6-расмда опалнинг турли ҳароратларда олинган люминесценция спектрлари келтирилган.



5-расм. Опалнинг ювишдан олдинги (1) ва бензолда, спиртда, водород периксида ва дистилланган сувда кетма-кет ювилгандан кейинги қайд қилинган (2) люминесценция спектрлари.

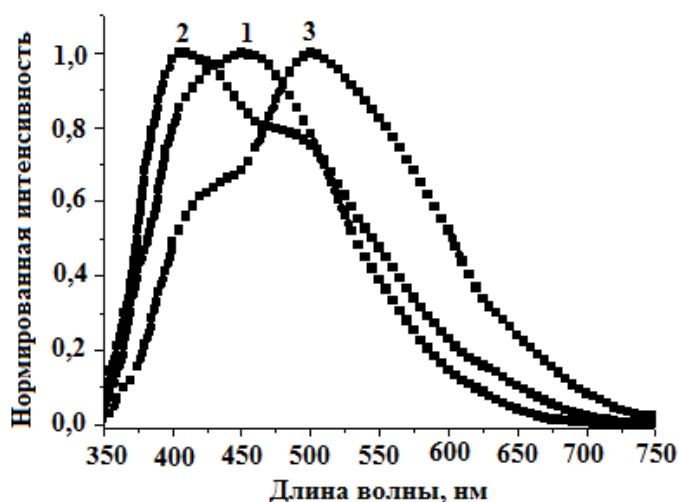


6-расм. Шарларининг диаметри ~195 нм бўлган опал люминесценция спектрининг ҳароратга боғлиқ равишда ўзгариши.

Ҳароратнинг ортиши люминесценция интенсивлигининг камайишига ва спектр шаклининг ўзгаришига олиб келади. Ҳарорат 26⁰С дан 450⁰С гача ортганда люминесценция интенсивлиги тахминан беш марта камаяди. Бунда

тўлқин узунлиги катта бўлган люминесценция полосасининг камайиш тезлиги қисқа тўлқин узунликдагидан катта бўлади. Юқори ҳароратда қиздириш опалларнинг люминесценция спектрига кучли таъсир қилади.

7-расмда опалларнинг қиздиришдан олдинги (1) ва $\sim 500^{\circ}\text{C}$ ҳароратда 1 соат давомида ҳавода (2) ва вакуумда (3) қиздирилгандан кейинги люминесценция спектрлари келтирилган. Расмдан ҳавода қиздирилгандан кейин катта тўлқин узунликдаги люминесценция полосасининг сўнишини ва қисқа тўлқин узунликдаги полосасининг ўсишини кўриш мумкин. Бунга қарама-қарши равишда вакуумда қиздирилгандан кейин люминесценция

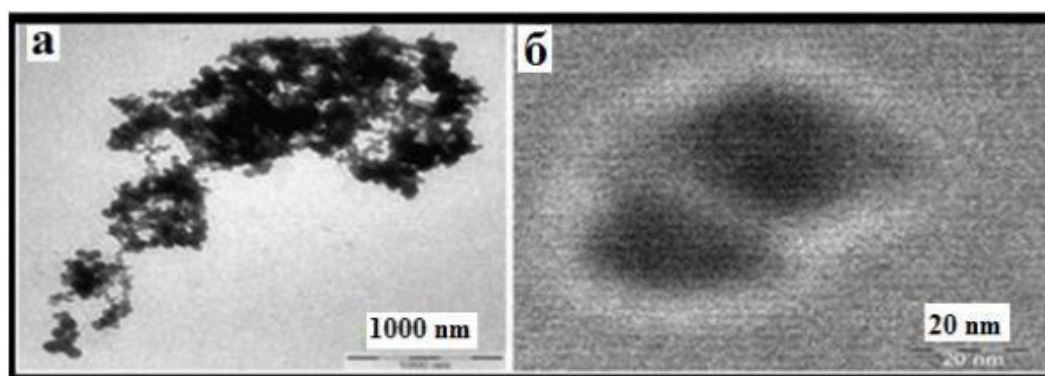


7-расм. Шарларининг диаметри ~ 195 нм бўлган опалнинг қиздиришдан олдинги (1) ва ҳавода (2) ва вакуумда (3) $\sim 500^{\circ}\text{C}$ ҳароратда 1 соат давомида қиздирилгандан кейинги люминесценция спектрлари.

спектрининг максимуми катта тўлқин узунликдаги люминесценция полосасининг ўсиши ҳисобига спектрнинг «қизил» томонига силжийди.

Қиздириш атмосфераси люминесценция спектрининг шаклини аниқлайди. Олинган натижалар кўрсатадики, ҳароратнинг ва қиздирилаётган атмосферанинг таъсири нафақат ҳарорат сабабли сўнишга, балки мавжуд бўлган ютилиш ва люминесценция марказларининг ўзгаришига ва/ёки тамоман йўқ бўлишига ва/ёки янги марказларнинг пайдо бўлишига олиб келиши мумкин.

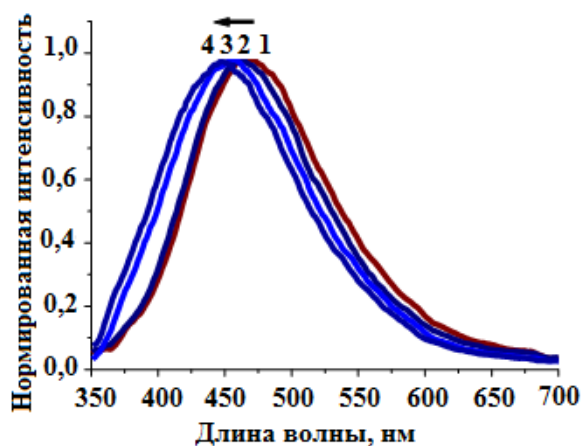
Тадқиқотлар кўрсатдики, N_2 -лазери нури таъсирида наноўлчамли SiO_2 зарралари намуналарида табиати сунъий опал нурланишига ўхшаш хаттоки, қуролланмаган кўз билан ҳам кўриш мумкин бўлган оқ нурланиш кузатилади. 8-расмда SiO_2 нанозарраларининг ўтувчи электрон микроскопда турли катталаштиришда олинган микротасвирлари келтирилган.



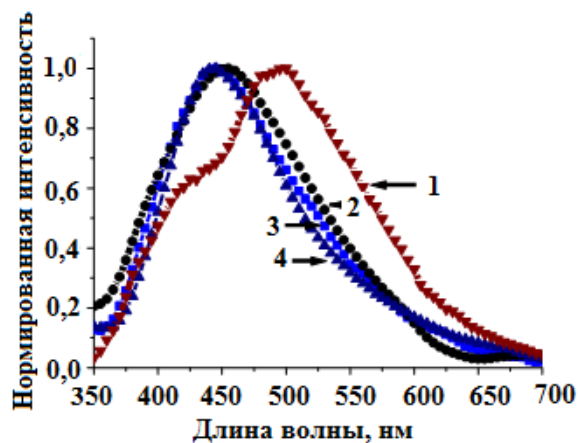
8-расм. SiO_2 нанозарраларининг ўтувчи электрон микроскопда (Leo 912 AB) турли катталаштиришда олинган микротасвирлари.

Нанозарраларнинг ўртача диаметри 7-15 нм. 9-расмда нанозарраларнинг турли босимда пресслаб ҳосил қилинган таблеткалари люминесценция спектрлари келтирилган. Тадқиқ этилаётган намуналарни тайёрлашда босимнинг ортиши қисқа тўлқин узунликдаги люминесценцияси полосаси интеграл интенсивлигининг ошишига ва кичик тўлқин узунликдаги люминесценцияси полосаси интеграл интенсивлигининг камайишига олиб келиши аниқланди.

Сунъий опал люминесценция спектрига ҳароратнинг, қиздириш атмосферасининг таъсири, унинг сирт тозалигига боғлиқлиги, катта тўлқин узунликдаги люминесценция полосаси интенсивлиги ва кремний диоксиди нанозарралари сирт юзаси орасидаги боғлиқлик 400 нмда жойлашган қисқа тўлқин узунликда люминесценция полосасини кремний диоксиди шарларининг ҳажмида жойлашган нурланиш марказларига, 500 нм катта тўлқин узунликдаги люминесценция полосасини эса опал (шарлар) сиртида жойлашган нурланиш марказларига тегишли деб қарашга имкон беради.



9-расм. Нанозарраларнинг турли босимда пресслаб ҳосил қилинган таблеткаларининг люминесценция спектрлари 1- 0.51 МПа, 2-2.55 МПа, 3-25.5 МПа ва 4-51 МПа.



10-расм. Сунъий опалнинг эритишдан олдинги (1) ва эритилгандан кейинги (2) ва юқори тозаликдаги кварц шишалари КУ-1 (3) ва КУВИ (4) нинг люминесценция спектрлари.

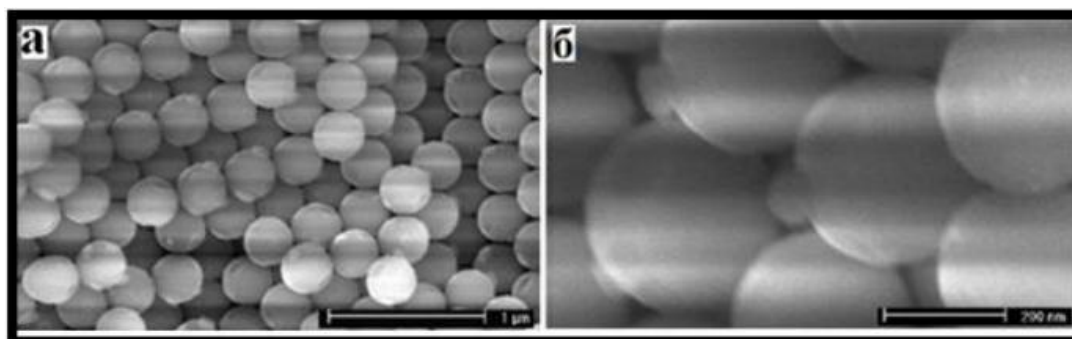
Опаллар кремний диоксидининг бир неча юз нанометрли шарларидан ташкил топгани учун улар худди шундай массадаги массив шиша намунасига нисбатан жуда катта сиртга эгадир. Ҳисоблашлар кўрсатадики, агар кремний диоксидининг зичлиги 2650 кг/м^3 деб олинса шарларининг диаметрлари $\sim 195 \text{ нм}$, $\sim 240 \text{ нм}$ ва $\sim 285 \text{ нм}$ бўлган 1 грамм массали опал намуналари мос равишда ~ 11.6 , ~ 9.4 ва $\sim 7.9 \text{ м}^2$ сирт майдонига эга бўлади ва кукунсимон Aerosil 300 маркали 7 нм диаметрли SiO_2 нанозарраларининг 1 грами $\sim 300 \text{ м}^2$ сирт майдонига эга бўлади. Айни пайтда 1 грамм массив SiO_2 намунасида $6 \times 10^{-4} \text{ м}^2$ сирт мавжуд. Демак, тадқиқ этилаётган сунъий опал намуналари бир хил массадаги массив SiO_2 намуналарига қараганда тахминан 10000 марта, SiO_2 нанозарралари эса 100000 марта катта сиртга эга ва опаллар (нанозарралар) люминесценцияси спектрларидаги ўзгаришларни SiO_2 шарларининг асосан

сиртида жойлашган нурланиш марказлари белгилайди. Катта тўлқин узунликда жойлашган люминесценция полосасининг кремний диоксиди наноўлчамли шарлари сиртида жойлашган нурланиш марказларига тегишли эканлигини шарлар орасидаги ғоваклар тугатилгандан кейин опал сирт майдонининг кучли камайиши натижасида бу полосанинг кескин камайиб кўринмай қолиши ҳам тасдиқлайди. Опал шарлари орасидаги бўшлиқларни йўқотиш учун сунъий опал намунаси водород-кислород алангаси таъсирида эритилди ва натижада шаффоф шишасимон намуна ҳосил қилинди. 10-расмда сунъий опалнинг эритилгандан олдинги ва эритиб ҳосил қилинган массив шишанинг люминесценция спектрлари келтирилган.

Эритилгандан кейин спектр кучли тарзда ўзгарган ва у фақат 430 нм соҳасида жойлашган битта люминесценция полосасидан ташкил топган. Люминесценция интенсивлиги бошланғич опалдагига нисбатан эритилгандан кейин бир неча юз марта камайди. Эритилгандан кейинги опал люминесценция спектрининг шакли таркибида бегона элементлар концентрацияси жуда кам бўлган, юқори тозаликдаги массив КУ-1 ва КУВИ маркали кварц шишаларниқидан фарқ қилмайди.

Бу натижалар сунъий опаллардаги люминесценция полосаларининг пайдо бўлиш табиати турли хиллигидан гувоҳлик беради ва катта тўлқин узунликлар томонда жойлашган люминесценция полосаси сунъий опални ташкил қилган наноўлчамли кремний диоксиди шарларининг сиртида жойлашган нурланиш марказларига тегишли эканлигини сўзсиз исботлайди.

Диссертациянинг «Сунъий опал ва опал ғовакларига киритилган элементларнинг ютилиш ва нурланиш марказларининг ўзаро таъсирлашиши» деб номланган тўртинчи бобида сунъий опалнинг ғовакларига турли моддаларни киритиш йўли билан яратилган нанокомпозитларнинг оптик ва структуравий хоссаларини тадқиқ этиш натижалари келтирилган. Родамин 6Ж органик бўёғининг спиртдаги эритмасини опал ғовакларига сингдириш йўли билан нанокомпозит яратилди. 11-расмда нанокомпозитнинг сканловчи электрон микроскоп ёрдамида турли катталаштиришдаги микротасвирлари келтирилган.

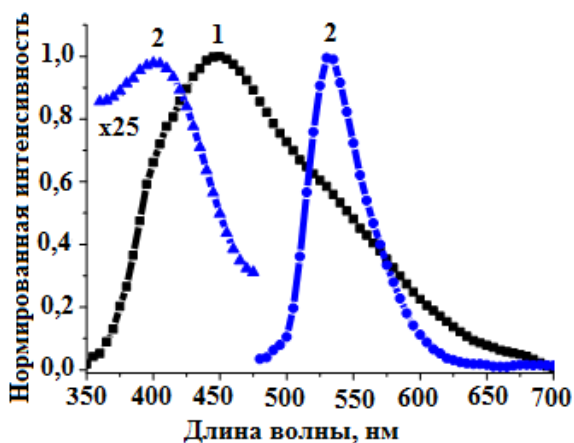


11-расм. Шарларининг диаметри ~285 нм бўлган сунъий опалга органик бўёқ киритилиб яратилган нанокомпозитнинг сканловчи электрон микроскоп ёрдамида турли катталаштиришда олинган микротасвирлари.

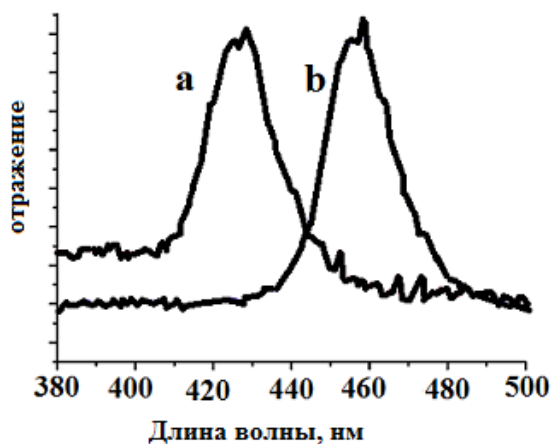
Расмдан кўринадики, эритувчи учиб кетганидан кейин қотган органик бўёқ опалнинг бўшлиқларида жойлашган ва уларнинг ўлчамлари 40-50 нм атрофида. Сунъий опал-Родамин 6Ж нанокөмпозитларида N₂-лазери таъсирида люминесценция кузатилади.

12-расмда органик бўёқни киритилишидан олдинги ва киритилгандан кейинги люминесценция спектрлари келтирилган. Нанокөмпозитлар люминесценцияси интенсивлиги бўш опал люминесценциясиникидан тахминан 25 марта катта. Нанокөмпозитларнинг люминесценция спектри иккита полосадан- интенсив ва тор 550 нмда жойлашган полоса ҳамда кучсиз ва кенг 410 нмда жойлашган полосалардан ташкил топган. 410 нм атрофида жойлашган люминесценция полосасини опалнинг ҳажмида жойлашган нуқсонлар люминесценциясига тегишли деб қарашимиз мумкин, 550 нм да жойлашган люминесценция полосаси эса органик бўёқ нурланиши билан боғлиқ. Бунда катта тўлқин узунлик соҳасида жойлашган опалнинг хусусий люминесценцияси кузатилмайди.

Кузатувлардан тахмин қилиш мумкинки, опалнинг хусусий люминесценцияси опал сиртидаги марказлардан бўёқ молекулаларига узатиладиган уйғотилиш энергиясининг ҳисобига бўёқ люминесценцияси томонидан сўндирилади. Бўёқнинг нанокөмпозитдаги ва спирт эритмасидаги люминесценция спектрлари таққосланганда улар бир-биридан кучли фарқ қилмаслигини кўрсатди. Спектрлардаги бундай ўхшашлик шуни кўрсатадики, ғоваклардаги бўёқ кичик концентрацияларда асосан мономер кўринишида бўлади ва уларнинг сезиларли димерлашиши кузатилмайди.



12-расм. Шарларининг диаметри ~285 нм бўлган опал ғовакларига Родамин 6Ж органик бўёғини сувдаги эритмаси киритилгандан кейинги (2) ва киритилишидан олдинги (1) люминесценция спектрлари.



13-расм. Бўш (а) ва рух оксиди киритилгандан кейинги (б) опалнинг кўзгусимон нур қайтариш спектрлари.

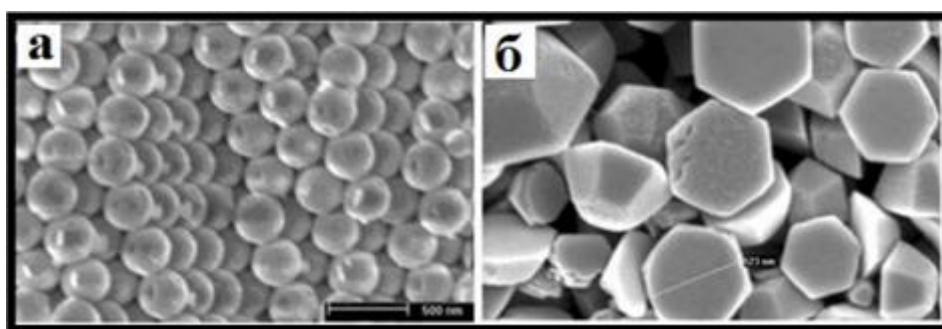
Сунъий опал бўшлиқларини рух оксиди (ZnO) нанокристаллари билан тўлдириш учун эритмада кимёвий чўктириш усулидан фойдаланиб яхши ифодаланган фотонли тақиқланган зонасига эга опал-ZnO нанокөмпозитлари яратилди. 13-расмда бўш ва ZnO киритилган опалларнинг кўзгу сифат нур

қайтариш спектрлари келтирилган. ZnO билан тўлдирилгандан кейин нанокөмпозитларнинг нур қайтариш спектри катта тўлқин узунлиги томонга сурилади ва 460 нмда жойлашади.

ZnO киритилган ва бўш опалларнинг Брегг нур қайтариш дифракцияси максимуми ҳолатини билган ҳолда, опал-ZnO нанокөмпозитларида ғовакларнинг тўлдирилиш даражасини баҳолашимиз мумкин.

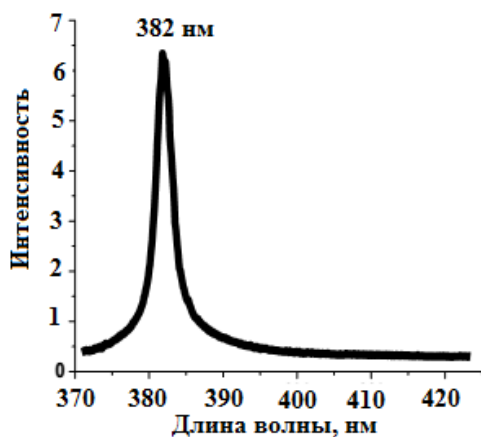
$$f = (\lambda_2 - \lambda_1) (n_{\text{SiO}_2} 0.74 + n_{\text{хав}} 0.26) / \lambda_1 (n_{\text{ZnO}} - n_{\text{хав}})$$

$D = 195$ нм, $\lambda_1 = 430$ нм, $\lambda_2 = 460$ нм, $n_{\text{SiO}_2} \sim 1.45$, $n_{\text{ZnO}} \sim 2.2$ ва $n_{\text{хав}} = 1$ эканлигини ҳисобга олсак, $f \sim 0.078$ қийматни оламиз. Бошқача сўз билан айтганда, опал умумий ҳажмининг 7.8% ёки бўшлиқларнинг 30% ҳажми ZnO нанокристаллари тўлдирилган.

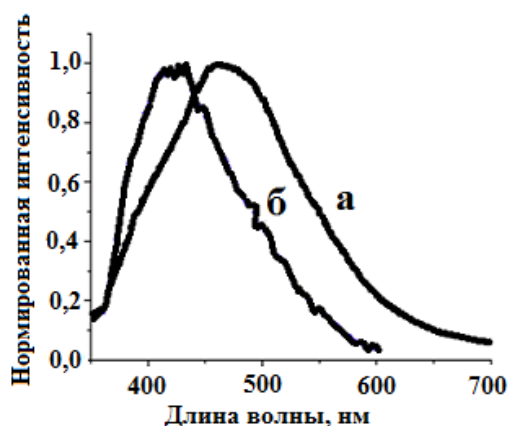


14-расм. Рух оксиди билан тўлдирилган опал (а) ва сапфир тагликка чўктирилган рух оксиди нанокристалларининг микротасвирлари.

14(а)-расмда рух оксиди билан тўлдирилган опал кўндаланг кесимининг микротасвири келтирилган. Реакция вақтида опал ғовакларида ўсиши билан бир вақтда ZnO нанокристаллари опал намунаси билан ёнма-ён жойлаштирилган сапфир таглик сиртида ҳам синтез қилинган. Бу ZnO нанокристаллари (14-(б) расм) ўртача 100-500 нм ўлчамга ва ZnO монокристалларига хос олти бурчакли кесик пирамида шаклига эгадирлар.



15-расм. Сапфир тагликда кимёвий чўктириш усули билан олинган рух оксиди нанокристалларининг люминесценция спектри.



16-расм. Опал-ZnO нанокөмпозити ва (б) ва бўш опалнинг (а) люминесценция спектрлари. Спектрлар ўзларининг максимумларига нормаллаштирилган.

ZnO нанокристалларининг люминесценция спектри 382 нмда жойлашган ягона интенсив тор полосадан ташкил топган. Бу полоса ZnO нинг экситон люминесценциясига нисбат берилади (15-расм).

Тадқиқотлар кўрсатадики, опал-ZnO нанокөмпозитларида ультрабинафша нур таъсирида люминесценция уйғотилади. Унинг спектри бўш опал спектрига нисбатан қисқа тўлқин узунлиги томонга силжиган (16-расм). Нанокөмпозит люминесценция спектрининг максимуми 400-450 нм тўлқин узунликларида жойлашган ва унинг фонида кучсиз 380 нм соҳадаги полосани кузатиш мумкин.

Опал-ZnO нанокөмпозитида ZnO экситон люминесценцияси кучсиз намоён бўлиши пировардида, опал матрицасининг нурланиши кучайгандир. Нанокөмпозитларда ZnO экситон люминесценциясининг кучсизланиши билан бир вақтда опал матрицаси нурланишининг кучайиши ZnO нанокристалларидан сунъий опални ташкил қилган кремний диоксиди шарлари сиртида жойлашган нурланиш марказларига энергия узатилиши билан боғлиқ бўлиши мумкин.

ХУЛОСА

1. Биринчи марта сунъий опалларда максимумлари ~400 ва ~500 нм тўлқин узунлигида жойлашган ва уйғотувчи нур тўлқин узунлигидан 700 нм гача давом этувчи люминесценция комплекс ва систематик равишда ўрганилди. Люминесценциянинг сўниши экспоненциал қонунга бўйсунмайди-тез компонентаси давомийлиги импульснинг ярим кенглигида 9 нс дан катта эмас, лекин кучсиз секин ташкил этувчиси мавжуд бўлиб, унинг давомийлиги 1 мкс дан катта;

2. Тадқиқ этилган сунъий опал намуналари диаметрлари ~195 нм, ~240 нм, ~285 нм бўлган тартибли ва зич жойлашган, бир хил ўлчамли SiO₂ шарларидан ташкил топган ва яққол кўринадиган 430, 525 ва 620 нм тўлқин узунликларида жойлашган фотонли тақиқланган зоналарига эга.

3. Биринчи марта 500 нм тўлқин узунлигида жойлашган люминесценция полосасининг сунъий опални ташкил қилган наноўлчамли кремний диоксиди шарларининг сиртида жойлашган нурланиш марказларига тегишли эканлиги аниқланди. Ташқи омилларнинг таъсири (харорат, ўраб турган атмосфера, сирт ҳолати ва бошқалар) мавжуд бўлган ютилиш ва люминесценция марказларининг ўзгаришига ва/ёки тамоман йўқ бўлишига ва/ёки янги марказларнинг пайдо бўлишига олиб келиши мумкин. Бу марказлар кремний диоксиди ва бегона элемент атомларидан ташкил топган бўлиб қуйидаги кўринишда бўлиши мумкин: ≡Si-O...M, бунда M – бегона элемент атоми.

4. Куқунсимон наноўлчамли аморф SiO₂ зарраларида ультрабинафша нуртаъсирида табиати сунъий опалларнинг нурланиши билан бир хил бўлган, максимумлари ~460 ва ~530 нм тўлқин узунликларида жойлашган люминесценция аниқланди.

5. Биринчи марта сунъий опалларни эритиш орқали олинган шаффоф шишасимон намунанинг люминесценция спектрида одатда опалга тегишли бўлган, 500 нм тўлқин узунлигида жойлашган люминесценция полосасининг йўқолиши ва унинг спектри юқори тозалиқдаги кварц шишаларининг

люминесценция спектрига ўхшаш бўлиб қолиши аниқланди. Бу натижа катта тўлқин узунлик томонда жойлашган люминесценция полосасининг сунъий опални ташкил қилган наноўлчамли кремний диоксиди шарларининг сиртида жойлашган нурланиш марказларига тегишли эканлигини сўзсиз тасдиқлайди.

6. Сунъий опал ғовақларини органик бўёқ ва рух оксиди нанокристаллари билан тўлдириш орқали янги хоссага эга бўлган нанокомпозитлар яратилди. Аниқланганки, бўёқ киритилганда опалнинг хусусий люминесценцияси сўнади ва аксинча, рух оксиди нанокристаллари киритилганда у кучаяди ва бу ҳодиса сунъий опал сирт марказлари ва киритилган элементлар атомлари орасида уйғотиш энергиясининг алмашилиши ҳисобига рўй бериши мумкин.

7. Олинган натижалар сунъий опаллар базасида олдиндан белгиланган хоссага эга бўлган турли хил нанокомпозитларни яратиш учун асос яратади ва сиртдаги ютилиш ва люминесценция марказлари табиатини тадқиқ қилишда янги имкониятлар очади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.30.05.2018.FM/Т.65.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И
ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

ИНСТИТУТ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ШАЙМАРДАНОВ ЗАФАР ШАПААТОВИЧ

**ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА И ФОТОННАЯ ЗАПРЕЩЕННАЯ
ЗОНА ИСКУССТВЕННОГО ОПАЛА И НАНОКОМПОЗИТОВ НА ЕГО
ОСНОВЕ**

01.04.05 – Оптика

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2018

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2017.4.PhD/FM158.

Диссертация выполнена в Институте ионно-плазменных и лазерных технологий.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице Научного совета по адресу www.iplt.uz и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу www.ziynet.uz.

Научный руководитель: **Курбанов Саидислам Саидгазиевич**
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Официальные оппоненты: **Семенов Денис Иванович**
доктор физико-математических наук, доцент
Ахмаджанов Тургунали
кандидат физико-математических наук, доцент

Ведущая организация: **Ташкентский государственный технический университет**

Защита диссертации состоится « ____ » _____ 2018 г. в ____ часов на заседании Научного совета DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 при Институте ионно-плазменных и лазерных технологий по адресу: 100125, г.Ташкент, ул. Дурмон йули, 33. Тел./Факс: (+99871) 262-32-54, e-mail:info@iplt.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института ионно-плазменных и лазерных технологий (зарегистрирована за № ____), по адресу: 100125, г.Ташкент, ул. Дурмон йули, 33. Тел.: (+99871) 262-31-69.

Автореферат диссертации разослан « ____ » _____ 2018 года.

(реестр протокола рассылки ____ от « ____ » _____ 2018 года).

Х.Б.Ашуров
председатель Научного совета по присуждению
учёных степеней, д.т.н., старший научный сотрудник

Д.Т.Усманов
учёный секретарь Научного совета по присуждению
учёных степеней, к.ф.-м.н.

Б.Е.Умирзаков
председатель научного семинара при Научном совете
по присуждению учёных степеней, д.ф.-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в мире нанофизика и нанотехнология сформировались как единое направление исследований, использующее общую идеологию, модели и методы исследований. Свойства наноразмерных материалов качественно отличаются от объемных материалов, описываемых квазиклассической теорией. Одним из наиболее популярных материалов, используемых в качестве матриц для создания твердых нанокомпозитов, является искусственный опал. Его популярность связана с его структурой – искусственный опал состоит из плотноупакованных монодисперсных шаров аморфного SiO_2 , между которыми существуют наноразмерные поры и каналы. Кроме этого искусственный опал является трехмерным фотонным кристаллом для видимого света. Фотонные кристаллы обещают найти широкое применение, особенно в качестве базовых элементов оптических интегральных схем, которые должны открыть путь к созданию оптических компьютеров и они остаются одним из важных вопросов.

Сегодня в мире наряду с простыми наноматериалами, органические и неорганические нанокомпозиты находятся в фокусе внимания многих исследователей, что объясняется их широкими потенциальными возможностями применения в нелинейной оптике, твердотельных лазерах, оптических элементах памяти, телекоммуникациях, молекулярных солнечных батареях, медицине, биосенсорах, и т.д. При создании нанокомпозитов большое значение имеет взаимодействие поверхностных атомов матрицы с атомами элементов, внедренных в поры опала, которое в большей степени определяет свойства нанокомпозита. Одной из актуальных проблем нынешнего дня является исследование природы поверхностных центров поглощения и свечения искусственного опала, а также механизмов взаимодействия этих центров с атомами, внедренными в поры опала.

В последние годы в Республике Узбекистан усиливается внимание к развитию перспективных направлений фундаментальных и прикладных исследований, в частности уделяется большое внимание созданию новых материалов и их применению в практику. В научно-исследовательских институтах Академии Наук Узбекистана проводятся работы, посвященные исследованию люминесцентных и структурных свойств наноструктур диоксида кремния (наночастицы, наностержени, нанопроволоки, нанодиски, пористое стекло, искусственный опал и другие). В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан указано стимулирование научно-исследовательской и инновационной деятельности, и разработка эффективных механизмов внедрения инновационных достижений в практику. В этой связи исследование возможностей применения искусственного опала со свойствами фотонного кристалла и нанокомпозитов, созданных на его основе как основных элементов в оптических интегральных схемах и их широкомасштабное внедрение в практику приобретает важное значение. Эти вопросы представляют не только фундаментальный научный интерес, но и прикладной, что обуславливает востребованность выбранной темы диссертации.

Данное диссертационное исследование в определенной степени соответствует задачам, предусмотренным в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 7 февраля 2017 года, в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-1442 «О приоритетных направлениях развития индустрии Республики Узбекистан на 2011–2015 гг.» от 15 декабря 2015 года, № ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организаций, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Диссертация выполнена в рамках приоритетных направлений развития науки и технологий Республики Узбекистан – II. «Физика, астрономия, энергетика и машиностроение».

Степень изученности проблемы. Исследования люминесцентных характеристик наноструктур диоксида кремния (наночастиц, нанородов, нанопроволоки, нанодиски, пористое стекло и др.) начались относительно недавно и в основном посвящены порошкообразным наночастицам SiO₂. В работах японских ученых T.Yamada, T.Uchino, итальянских ученых G.Vaccaro, S.Agnello, китайских ученых Qing Wei, Guowen Meng, индийских ученых Subhasree Banerjee, Anindya Datta и российского ученого Ю.Д.Глинка сообщается о наблюдении в порошкообразных наночастицах SiO₂ и искусственном опале, состоящем из упорядоченно расположенных шаров диоксида кремния, полос люминесценции с максимумами при ~400 и ~500 нм. Принадлежность этих полос люминесценции к определенным дефектам и природа их образования противоречивы. Хотя некоторые авторы (G.Vaccaro и S.Agnello) допускают, что эти полосы люминесценции могут быть связаны с поверхностными центрами, но к настоящему времени они не идентифицированы и комплексные исследования их свойств в искусственном опале не проводились.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа была выполнена в Институте ионно-плазменных и лазерных технологий в рамках следующих научных проектов: Государственная программа фундаментальных исследований АН РУз проект ФА-Ф2-Ф083 «Исследование индуцированных оптических и нелинейно-оптических свойств кристаллических наноструктур и наносuspensions» (2007-2011 гг.), Фонд поддержки фундаментальных исследований АН РУз: №56/04 «Запрещенная фотонная зона искусственных опалов и ее влияние на люминесценцию собственных и внедренных центров свечения» (2004-2005 гг.), №63-06 «Исследование влияния наноразмерных пор и фотонной запрещенной зоны искусственных опалов на оптические и структурные характеристики оксида цинка» (2006-2007 гг.), №42-08 «Люминесценция поверхностных дефектов синтетических опалов и их модификация при взаимодействии с окружающей средой» (2008-2009 гг.), №17-10 «Исследование медленной люминесценции синтетических опалов, индуцированной высокотемпературным

отжигом» (2010-2011 гг.), №Ф.12-10 «Исследование влияния условий возбуждения и мощности возбуждающего излучения на эмиссионные характеристики матрицы ZnO нанородов» (2012-2013 гг.).

Цель исследования. Целью данной работы являлось исследование природы поверхностных центров свечения искусственного опала, влияние фотонной запрещенной зоны на спектрально-кинетические характеристики люминесценции опала и элементов, внедренных в его пустоты.

Задачи исследования:

исследование строения искусственного опала, определение положения его фотонной запрещенной зоны в зависимости от диаметра шаров, угла падения излучения, наполненности и материала пор опала;

исследование спектрально-кинетических характеристик люминесценции искусственных опалов в зависимости от степени и способа их очистки, температуры и материала, внедренного в поры опала;

создание нанокompозитов путем заполнения пор опала различными материалами;

исследование модификации фотонной запрещенной зоны нанокompозитов, созданных заполнением пор опала различными материалами;

исследование эффектов усиления или подавления люминесценции опаловой матрицы в нанокompозитах вследствие взаимодействия поверхностных центров с материалами, введенными в поры опала;

Объектом исследования являлись образцы искусственного опала, состоящие из наноразмерных шаров диоксида кремния с различными размерами и положением фотонной запрещенной зоны.

Предметом исследования являлись спектры отражения, пропускания и люминесценции искусственного опала, нанокompозитов, созданных на его базе и влияние внешних факторов на спектры люминесценции.

Методы исследования. Спектры люминесценции, пропускания и отражения искусственных опалов и нанокompозитов на их базе исследовались в модифицированных спектральных комплексах на базе монохроматора МДР-23. Спектры регистрировались методами синхронного детектирования и бокскаринтегрирования. В качестве источников возбуждения применялись различные непрерывные и импульсно-периодические лазеры УФ и видимого диапазона, а также лампы накаливания. Структура и морфология образцов исследовались на просвечивающем электронном микроскопе (ТЕМ LEO-912AB Уникальный научный объект при Институте ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз) и на сканирующем электронном микроскопе (SEM, XL-30 PHILIPS, Донггукский университет, Республика Корея).

Научная новизна исследования заключается в следующем:

в образцах опала наблюдается люминесценция с неэкспоненциальным законом затухания, спектр которой имеет максимумы в районе 400 - 500 нм и простирается от линии возбуждения до 700 нм;

установлено, что повышение температуры образца, высокотемпературный отжиг на воздухе и в вакууме преимущественно влияет на интенсивность полосы люминесценции (ПЛ) при 500 нм;

установлено, что в спектре люминесценции прозрачного стеклообразного образца, полученного плавлением опала, полоса люминесценции при 500 нм, присущая искусственному опалу, исчезает;

обнаружено, что порошкообразные наноразмерные частицы аморфного SiO_2 под воздействием УФ излучения проявляют люминесценцию с максимумами при ~ 460 и ~ 530 нм, а уменьшение площади поверхности наночастиц приводит к росту интегральной интенсивности коротковолновой ПЛ и уменьшению длинноволновой ПЛ;

установлено, что введение органического красителя в поры опала приводит к подавлению собственной люминесценции опала за счет передачи возбуждения от поверхностных центров опала к молекулам красителя;

обнаружено, что в нанокompозите опал-ZnO экситонная люминесценция ZnO оказывается подавленной за счет передачи возбуждения от нанокристаллов ZnO к центрам свечения, локализованным на поверхности шаров диоксида кремния, из которых состоит искусственный опал.

Практические результаты исследования:

определены роль и механизмы воздействия фотонной запрещенной зоны на люминесцентные характеристики вещества, внедренного в пустоты опала;

изучены и определены механизмы образования дефектов на поверхности наноструктур диоксида кремния и влияние различных внешних факторов на их оптические характеристики;

созданы нанокompозиты с новыми оптическими свойствами путем наполнения пор искусственного опала органическим красителем и нанокристаллами оксида цинка;

установлено, что при наполнении пор искусственного опала органическим красителем и нанокристаллами оксида цинка опаловая матрица не утрачивает свойства фотонного кристалла;

определены эффекты, связанные с влиянием поверхностных дефектов, которые позволят прогнозировать и учитывать их при моделировании и изготовлении различных нанокompозитов на основе искусственного опала.

Достоверность результатов исследований подтверждается использованием современных экспериментальных установок и приборов при исследовании оптических и структурных характеристик искусственного опала и нанокompозитов на его основе, высокой степенью воспроизводимости полученных результатов.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов диссертационного исследования заключается в том, что они обогащают базу данных о свойствах поверхностных центров свечения диоксида кремния, позволяют объяснить физические механизмы образования дефектов на поверхности диоксида кремния, в частности опаловых фотонных кристаллов, состоящих из наноразмерных шаров диоксида кремния, их взаимодействие с атомами веществ, внедренных в поры опала.

Практическая значимость результатов исследования состоит в том, что их использование позволяет создать нанокompозиты с заданными оптическими свойствами на основе искусственного опала путем внедрения различных

материалов в его поры, манипулировать положением фотонной запрещенной зоны и модифицировать спектр люминесценции внедренных в поры элементов.

Внедрение результатов исследований. На основе результатов исследований оптических и структурных свойств искусственного опала и его нанокompозитов, созданных путем введения различных элементов в его поры:

результаты исследований эффекта передачи энергии между органическим красителем и матрицей в нанокompозите на основе искусственного опала были использованы в международных журналах (Chemistry of Materials 19, 5547-5552, 2007, IF: 9.466; Physical Chemistry C114, 2403–2413, 2010, IF: 4.536; Colloid and Interface Science 357, 322–330, 2011, IF: 4.233) для сравнения, объяснения и анализа с результатами, полученными при исследовании нанокompозитов на основе органического красителя Родамин 6Ж. Использование результатов позволило улучшить оптические характеристики нанокompозитов на основе Родамин 6Ж.

результаты синтеза оксида цинка и исследования изменения полос люминесценции при создании нанокompозитов были использованы в международных журналах (Physical Chemistry Chemical Physics-Royal Society of Chemistry 19, 27081, 2017, IF: 4.123; Applied Physics 123, 085702, 2017, IF: 2.04; Materials Science Materials in Electronics 28, 1605–1611, 2017, IF: 1.3) при синтезе наноструктур оксида цинка и изучении возможностей их применения в создании солнечных элементов для анализа и интерпретации результатов, полученных при исследовании природы наблюдаемой люминесценции. Использование результатов позволило идентифицировать фиолетовую полосу люминесценции, наблюдаемую в наноструктурах оксида цинка с примесями индия, с вакансиями цинка.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на 3 международных и 11 республиканских научно-практических конференциях.

Публикации результатов. Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 25 научных трудах, из них 11 научных статей, в том числе 6 в международных, 5 в республиканских журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертационных работ, и 14 докладов опубликованы в трудах международных и республиканских конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы. Работа содержит 130 страниц машинописного текста, включая 36 рисунков и 2 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, определено соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, приведена степень изученности проблемы, сформулированы цели и задачи, выявлены

объекты, предметы и методы исследования, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты их научная и практическая значимость, приведены краткие сведения о внедрении результатов исследования и апробации работы, а также об объеме и структуре диссертации.

В первой главе приведен обзор теоретических и экспериментальных работ, посвященных люминесценции стеклообразного SiO_2 , различных структур диоксида кремния и нанокомпозитов на базе различных матриц, в том числе искусственного опала. Обсуждаются свойства искусственного опала как фотонного кристалла, модификация его оптических характеристик при создании различных нанокомпозитов путем заполнения его пустот различными веществами. Рассматриваются строение и особенности центров поглощения и свечения, анализируются механизмы создания и изменения их свойств под воздействием различных факторов. В конце обзора формулируются цели и задачи данной диссертационной работы.

Вторая глава диссертации «**Методика исследований и характеристики экспериментальных установок**» посвящена методологии эксперимента, где описаны экспериментальные установки для исследования спектров люминесценции, отражения и пропускания искусственных опалов и нанокомпозитов на их основе. Изложены принципы работы и особенности экспериментальных установок и характеристики объектов исследования.

В экспериментальной установке, предназначенной для изучения спектров отражения и пропускания образцов, применялся метод синхронного детектирования. Установка позволяла регистрировать спектры отражения и пропускания в диапазоне 200-1800 нм. Исследуемый образец устанавливался на гониометрический столик. Применение гониометрического столика позволяло поворачивать образец вокруг своей оси и тем самым изменять угол между проходящим лучом и нормалью на поверхность опала. Незначительным изменением схемы регистрации экспериментальная установка измерения спектров пропускания легко превращалась в установку для измерения спектров отражения опалов. Установка измерения спектров отражения и пропускания искусственного опала и нанокомпозитов на его основе обеспечивала исследование спектров в зависимости от угла падения и выявить положение запрещенной фотонной зоны опала и нанокомпозитов на его основе.

Люминесценция исследовалась на экспериментальной установке, собранной на базе светосильного монохроматора МДР-23. Она позволяла исследовать не только спектральные, но и кинетические характеристики люминесценции в диапазоне 350-800 нм. Установка включала в себя мощный импульсный N_2 - лазер УФ диапазона ((ЛГН-505), $\lambda=337$ нм, $\tau\sim 6$ нс, $P\sim 15$ кВт, частота повторения импульсов 5-1000 Гц), систему регистрации спектров методом стробирования импульса (бокскаринтегратор ВСИ-280) и систему управления, обработки и хранения данных. Все операции, связанные с управлением монохроматора, обработкой и хранением данных, производились на компьютере.

В экспериментах использовались образцы искусственного опала, состоящие из шаров кварцевого стекла диаметром ~195, ~240 и ~285 нм. Они были синтезированы путем гидролиза ТЭОС в этаноле (процесс Штобер Финка-Бона) в научном центре «Нанотехнология» Техасского университета (США). Образцы были вырезаны перпендикулярно к направлению роста кристалла (111). Нанокompозиты на основе искусственного опала были получены путем пропитки их спиртовым раствором органического красителя Родамин 6Ж. После пропитки нанокompозиты предварительно сушили на воздухе и выдерживали в вакууме при температуре 60⁰С в течение нескольких часов. Все измерения растворов красителя проводились в кварцевых кюветах размером поперечного сечения 1 см² под прямым углом.

Для наполнения пустот опала нанокристаллами оксида цинка (ZnO) был выбран метод химического осаждения из метилового раствора ацетата цинка дигидрата с добавкой дистиллированной воды. Синтез нанокристаллов ZnO происходил при постоянной температуре 63⁰С в течение 24 часов. Для того чтобы увеличить наполняемость пор опала оксидом цинка, этот процесс повторялся несколько раз. Каждый раз обе поверхности опала подвергались механической шлифовке для удаления осажденного на поверхности оксида цинка. Подготовленные к измерениям образцы опала с наполненными ZnO порами имели размер 10x5x0.3 мм³.

Морфология и структура образцов исследовались на просвечивающем электронном микроскопе (ТЕМ LEO-912AB) в уникальном научном объекте при Институте ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз и на сканирующем электронном микроскопе (SEM, XL-30 PHILIPS) в Исследовательском центре квантово-функциональных полупроводников при Донггукском университете (г. Сеул, Республика Корея).

В третьей главе **«Исследование оптических характеристик искусственного опала и влияние внешних факторов на его люминесценцию»** представлены результаты экспериментального исследования структуры искусственного опала, параметров и свойств фотонной запрещенной зоны (ФЗЗ), люминесценции и влияния на ее спектр различных внешних факторов. Также приводятся результаты исследования порошкообразных наночастиц SiO₂, где обсуждается влияние площади поверхности образцов диоксида кремния на интенсивность люминесценции.

На рис. 1 приведены микрофотографии исследованных образцов опала, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа. Наночастицы расположены упорядоченно и плотно упакованы, что свидетельствует об их хорошем качестве.

Определение фотонной запрещенной зоны путем измерения спектров отражения и пропускания света является эффективным методом характеристики искусственных опалов. ФЗЗ опала проявляется ярко выраженным максимумом (минимумом) в спектрах отражения (пропускания).

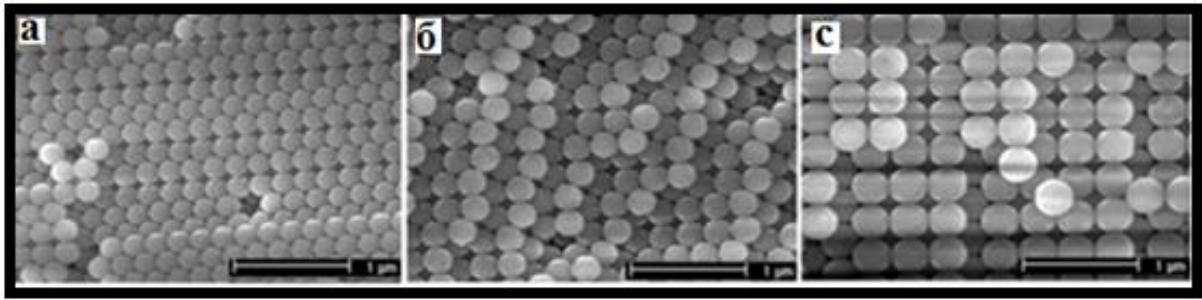


Рис.1. Микрофотографии опалов с размерами наночастиц: (а) ~195 нм, (б) ~240 нм и (с) ~285 нм, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа.

На рис. 2 представлены спектры зеркального отражения (а), полученные при малом телесном угле отбора отраженного излучения и пропускания (б) при нулевом угле падения луча.

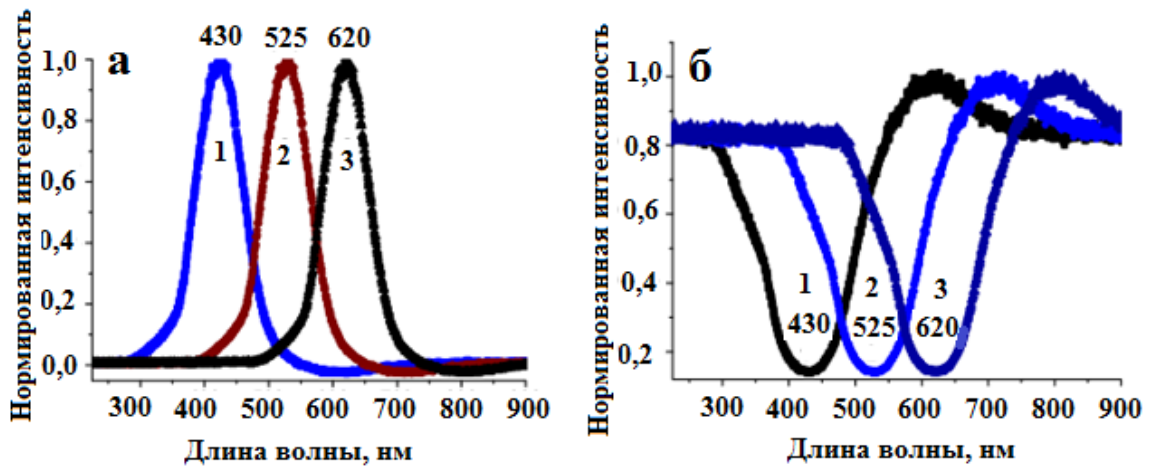


Рис.2. Спектры зеркального отражения (а) и пропускания (б) исследованных опалов с диаметрами шаров ~195 нм (1), ~240 нм (2) и ~285 нм (3).

Наблюдаемые интенсивные максимумы отражения и минимумы пропускания являются следствием Брегговской дифракции электромагнитной волны от периодической трехмерной упорядоченной структуры опала. Комбинированный закон дифракции Брэгга-Вульфа для искусственного опала имеет следующий вид:

$$2 \times 0.816 D ((n_{\text{эфф}})^2 - \sin^2 \theta)^{1/2} = k \lambda$$

где D – диаметр микрошаров, θ – угол между падающим лучом и нормалью к плоскости падения, k – порядок дифракции ($k = 1, 2, 3 \dots$), λ – длина волны излучения, $n_{\text{эфф}}$ – эффективный показатель преломления опала. В случае пустого опала, т.е. когда между шарами имеется только воздух и в предположении, что пустоты занимают 26% всего объема опала, $n_{\text{эфф}}$ определяется согласно формуле:

$$n_{\text{эфф}} = 0.74 n_{\text{SiO}_2} + 0.26 n_{\text{воз}}$$

здесь n_{SiO_2} и $n_{\text{воз}}$ показатели преломления кварцевого стекла и воздуха, соответственно. Подставляя данные: $n_{\text{SiO}_2} \sim 1.45$, $n_{\text{воз}} = 1$, получаем $n_{\text{эфф}} = 1.333$.

Из выше приведенной формулы можно вычислить диаметр шаров D:

$$D_1 = \frac{k\lambda_1}{2 * 0,816 * \sqrt{n_{эфф}^2 - \sin^2 \theta}}$$

$$D_2 = \frac{k\lambda_2}{2 * 0,816 * \sqrt{n_{эфф}^2 - \sin^2 \theta}}$$

$$D_3 = \frac{k\lambda_3}{2 * 0,816 * \sqrt{n_{эфф}^2 - \sin^2 \theta}}$$

Подставляя данные: $n_{эфф}=1.333$, $\lambda_1 = 430$ нм, $\lambda_2 = 525$ нм, $\lambda_3 = 620$ нм и при нормальном падении луча $\theta=0$ для первого порядка дифракции $k = 1$, получаем $D_1 = 198$ нм, $D_2 = 241$ нм и $D_3 = 286$ нм. Эти рассчитанные значения диаметров кварцевых шаров находятся в согласии с данными, полученными с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Под воздействием излучения N₂-лазера (337 нм) во всех исследованных образцах опала возбуждается люминесценция с широким спектром, простирающаяся от линии возбуждения до 700 нм с максимумами в районе 400 и 500 нм. Люминесценция затухает не экспоненциально и состоит из быстрой и медленной компонент. Длительность интенсивной быстрой компоненты не больше 9 нс на полувысоте импульса, а длительность слабой медленной компоненты более 1 мкс.

Спектры люминесценции, принадлежащие различным опалам, отличаются друг от друга соотношением интенсивностей коротковолновой и длинноволновой ПЛ. На рис. 3 представлены спектры быстрой компоненты люминесценции искусственных опалов с разными диаметрами шаров. Хотя искусственный опал состоит из плотноупакованных шаров диоксида кремния, его люминесцентные характеристики отличаются от таковых массивного стеклообразного диоксида кремния.

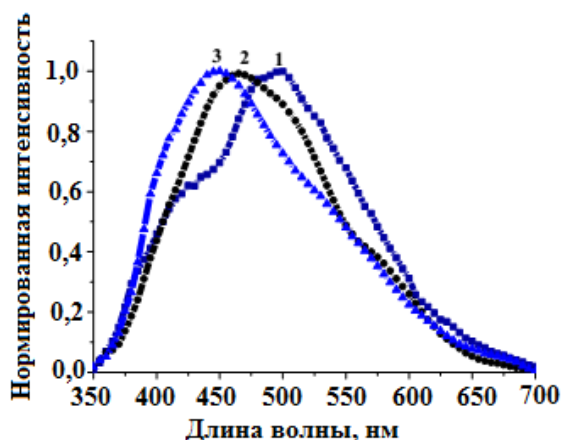


Рис.3. Спектры люминесценции опалов с диаметрами шаров: ~195 нм (кривая 1), ~240 нм (кривая 2) и ~285 нм (кривая 3).

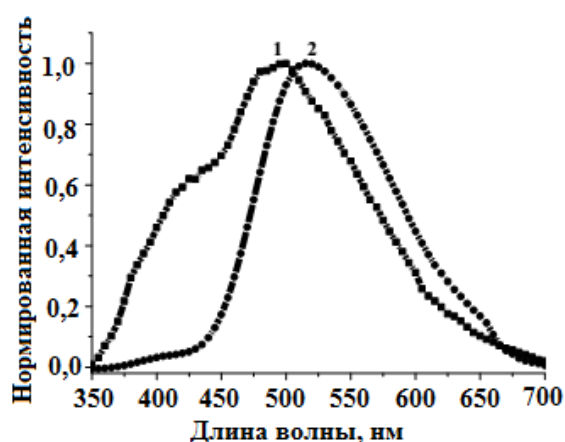


Рис.4. Спектры люминесценции опала с диаметром шаров ~195 нм, зарегистрированные по схеме на «отражение» (1) и на «пропускание» (2).

Проведенные исследования показали, что из-за ФЗЗ спектр и интенсивность люминесценции искусственного опала зависят от геометрии регистрации. Эффект ФЗЗ можно обнаружить, регистрируя спектры люминесценции: на «пропускание», когда люминесценция регистрируется в направлении возбуждающего излучения и на фотоприемник попадает свечение, проходящее через опал, и на «отражение», когда фотоприемник регистрирует свечение, возбужденное на приповерхностном слое опала. В последнем случае из-за того, что люминесценция, возбуждаемая в приповерхностном слое опала, проходит относительно малый слой шаров диоксида кремния, воздействие на нее ФЗЗ будет незначительно. На рис.4 показаны спектры люминесценции опала, полученные по геометрии на «отражение» и на «пропускание». Как видно из рисунка, спектр люминесценции, полученный в режиме на «отражение», имеет два спектральных максимума: в районе 430 и 500 нм, а спектр, зарегистрированный в режиме на «пропускание», имеет только один выраженный спектральный максимум при 500 нм, а коротковолновая часть спектра в районе 430 нм сильно подавлена. Эта область коррелирует с положением ФЗЗ опала (см. рис.2). Таким образом, ФЗЗ опала в районе 430 нм препятствует распространению люминесценции с такими же длинами волн, а остальные фотоны с энергиями больше или меньше ФЗЗ не испытывают влияние ФЗЗ и выходят из опала.

Обнаружено, что люминесценция чувствительна к состоянию поверхности опала – промывка образцов в различных жидкостях приводит к изменению формы спектра, выражающемуся в уменьшении интенсивности длинноволновой полосы люминесценции (ПЛ) при 500 нм. На рис. 5 приведены спектры люминесценции опала, полученные до (кривая 1) и после последовательной промывки в бензоле, спирте, перекиси водорода и дистиллированной воде (кривая 2). Как видно, исходный неочищенный опал имеет сложный спектр, состоящий из трех ПЛ с максимумами в районе 390, 430 и 500 нм.

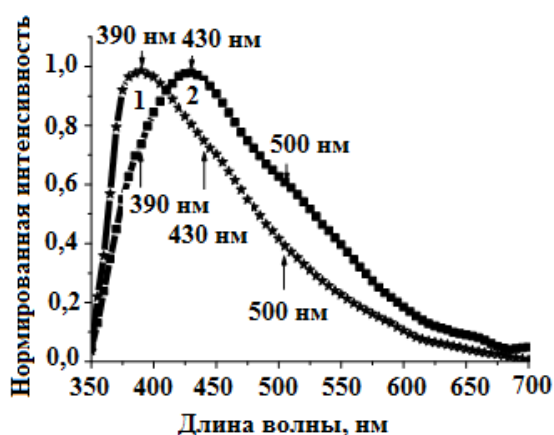


Рис.5. Спектры люминесценции опала с диаметром шаров ~285 нм до (1) и после последовательной помывки в различных жидкостях (2).

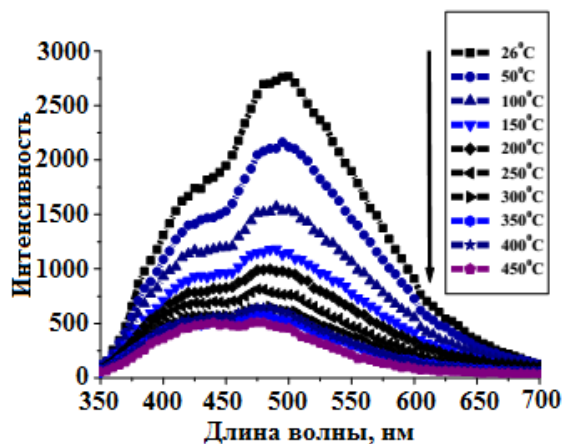


Рис.6. Изменение спектра люминесценции опала с диаметром шаров ~195 нм в зависимости от температуры.

После промывки удельный вес длинноволновой полосы уменьшается, а коротковолновой растет. Исследования показали, что люминесценция опала подвержена температурному тушению. Повышение температуры опала приводит к уменьшению интенсивности люминесценции. На рис. 6 приведены спектры люминесценции опала, полученные при разных температурах. С ростом температуры происходят уменьшение интенсивности люминесценции и изменение формы ее спектра. При увеличении температуры от 26⁰С до 450⁰С интенсивность люминесценции уменьшилась примерно в пять раз. При этом скорость уменьшения длинноволновой ПЛ была больше, чем коротковолновой.

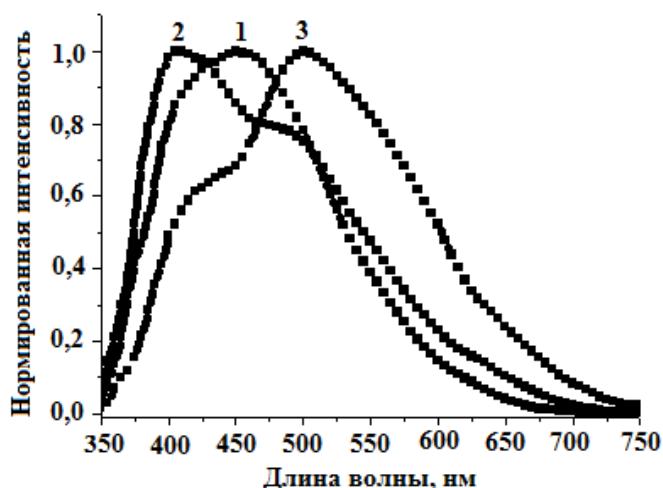


Рис.7. Спектры люминесценции опала диаметром шаров ~195 нм до (1), после высокотемпературного отжига на воздухе (2) и в вакууме (3) при температуре ~500⁰С в течение 1 часа.

Отжиг образцов при высокой температуре оказывает сильное влияние на спектр люминесценции опалов. На рис. 7 приведены спектры люминесценции опала до (кривая 1) и после отжига в вакууме (кривая 3) и на воздухе (кривая 2) при температуре ~500⁰С в течение 1 часа. Как видно, отжиг на воздухе привел к подавлению длинноволновой ПЛ и росту коротковолновой.

В противоположность этому, после отжига в вакууме максимум спектра люминесценции претерпевает «красное» смещение за счет роста интенсивности длинноволновой ПЛ. Атмосфера отжига определяет изменения формы спектра люминесценции. Полученные результаты указывают, что воздействие температуры и атмосфера окружения приводят не только к температурному тушению, но и разрушению и/или созданию новых и/или модификации имеющихся центров поглощения и люминесценции.

Исследования показали, что под воздействием излучения N₂-лазера в образцах наноразмерных частиц SiO₂ наблюдается белое свечение, которое можно увидеть невооруженным глазом, природа которого одинакова со свечением искусственного опала. На рис. 8 представлены микрофотографии наночастиц SiO₂, полученные на просвечивающем электронном микроскопе при разных увеличениях.

Средний диаметр наночастиц 7-15 нм. На рис. 9 показаны спектры люминесценции наночастиц, спрессованных в таблетки при различных давлениях. Обнаружено, что с увеличением давления при изготовлении исследуемых образцов интегральная интенсивность коротковолновой ПЛ увеличивается, а длинноволновой уменьшается.

Влияние на спектр люминесценции искусственного опала температуры, атмосферы отжига, его зависимость от чистоты поверхности, корреляция между интенсивностью длинноволновой ПЛ и площадью поверхности

наночастиц диоксида кремния позволяют идентифицировать коротковолновую ПЛ при 400 нм с центрами свечения, образованными в объеме шаров диоксида кремния, а длинноволновую ПЛ при 500 нм с центрами свечения, локализованными на поверхности опала (шаров).

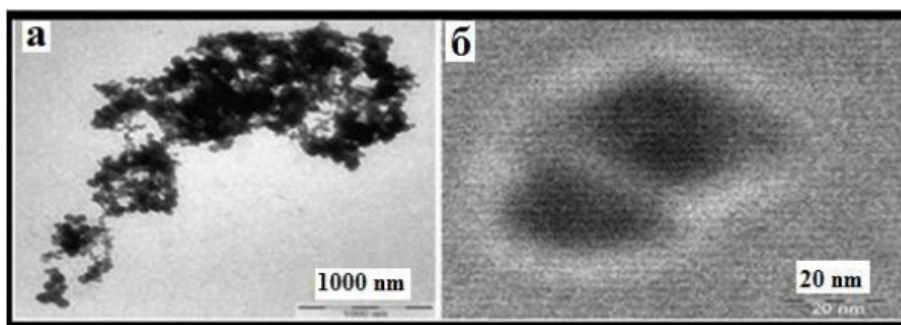


Рис.8. Микрофотографии наночастиц SiO₂, полученные на просвечивающем электронном микроскопе Leo 912AB при различных увеличениях.

Из-за того, что опал состоит из шаров диоксида кремния с размерами порядка несколько сот нанометров, он имеет очень большую поверхность по сравнению с массивным образцом стекла с такой же массой. Расчеты показали, если взять за плотность диоксида кремния 2650 кг/м³, то образцы опала с массой 1 грамм с диаметрами шаров ~195 нм, ~240 нм и ~285 нм будут иметь поверхность с площадью ~11.6, ~9.4 и ~7.9 м², соответственно, а 1 грамм порошкообразных наночастиц SiO₂ марки Aerosil 300 с диаметром частиц ~7 нм имеет поверхность с площадью ~300 м². В то же время 1 грамм массивного SiO₂ имеет поверхность 6x10⁻⁴ м².

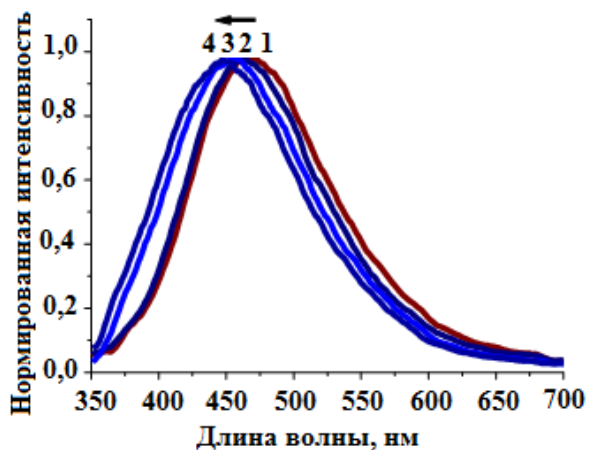


Рис.9. Спектры люминесценции наноразмерных частиц SiO₂, спрессованных в таблетки при различных давлениях. 1- 0.51 МПа, 2-2.55 МПа, 3-25.5 МПа и 4-51 МПа.

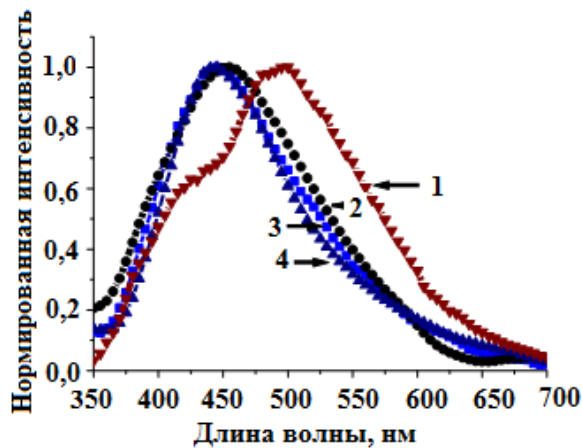


Рис.10. Спектры люминесценции опала до (1) и после плавления (2), высокочистого кварцевого стекла КУ-1 (3) и КУВИ (4).

Таким образом, исследованные образцы искусственного опала имеют примерно в 10000 раз, а наночастицы SiO₂ в 100000 раз большую поверхность, чем образец SiO₂ с одинаковой массой, и центры свечения, локализованные на

поверхности шаров (наночастиц) диоксида кремния, в основном определяют изменения в спектре люминесценции опала (наночастиц).

Принадлежность длинноволновой ПЛ к центрам свечения, локализованным на поверхности наноразмерных шаров диоксида кремния, также подтверждается исчезновением этой полосы вследствие сильного уменьшения площади поверхности опала из-за ликвидации пор между шарами. Для удаления пор искусственный опал плавился под воздействием пламени водородно-кислородной горелки, в результате чего образовался прозрачный стеклообразный образец. На рис. 10 приведены нормированные спектры люминесценции искусственного опала до (кривая 1) и после плавления в массивное стекло (кривая 2). Как видно, после плавления спектр опала сильно изменился, и он содержит только одну ПЛ с максимумом в районе 430 нм. При этом интенсивность люминесценции уменьшилась на несколько порядков по сравнению со свечением опала до плавления. Спектр люминесценции плавленого опала по форме практически не отличается от спектра массивных образцов высокочистого кварцевого стекла марки КУ-1 и КУВИ (кривые 3 и 4), которые содержат предельно низкие концентрации красящих элементов.

Эти результаты свидетельствуют о разной природе происхождения полос люминесценции в искусственном опале и однозначно доказывают принадлежность длинноволновой полосы люминесценции к центрам свечения, локализованным на поверхности наноразмерных шаров диоксида кремния, из которых состоит искусственный опал.

В четвертой главе диссертации «**Взаимодействие центров поглощения и излучения искусственного опала и элементов, введенных в пустоты опала**» приведены результаты исследований структурных и оптических свойств нанокompозитов, созданных на базе искусственного опала путем внедрения в его поры различных веществ. Нанокompозит опал – Родамин 6Ж был создан пропиткой спиртового раствора органического красителя пор опала. На рис.11 приведены микрофотографии нанокompозита, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа при разных увеличениях.

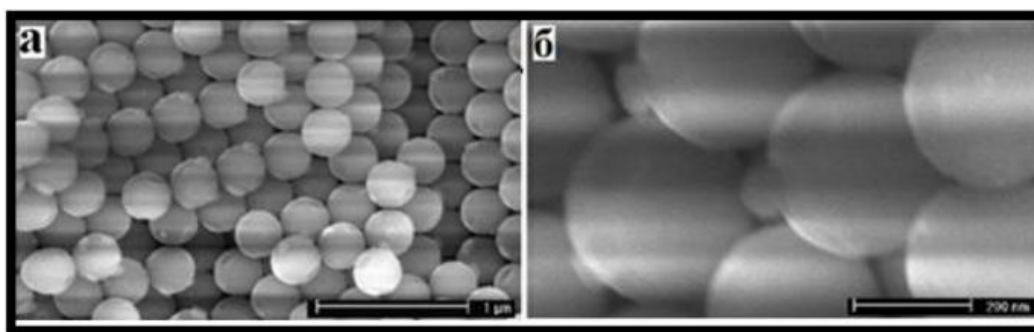


Рис.11. Изображения искусственного опала с диаметром шаров 285 нм после введения органического красителя, полученные с помощью сканирующего электронного микроскопа при разных увеличениях.

Как видно, после улетучивания растворителя затвердевший краситель сосредоточен в пустотах опала и имеет размер порядка 40–50 нм.

Под воздействием N₂-лазера нанокompозиты Родамин 6Ж – искусственный опал проявляют люминесценцию. На рис.12 приведены спектры люминесценции опала до и после введения органического красителя. Люминесценция нанокompозита примерно в 25 раз интенсивнее собственной люминесценции пустого опала. Спектр люминесценции нанокompозита состоит из двух полос – интенсивной и узкой полосы около 550 нм и слабой широкой полосы в районе 410 нм. Полосу люминесценции около 410 нм можно отнести к люминесценции опала, обусловленной дефектами, локализованными в объеме, а ПЛ при 550 нм является свечением красителя.

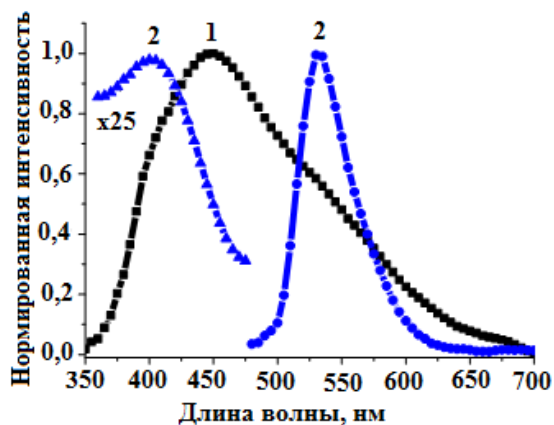


Рис.12. Спектры люминесценции опала с диаметром шаров ~285 нм до (1) и после введения органического красителя Родамин 6Ж из водного раствора (2).

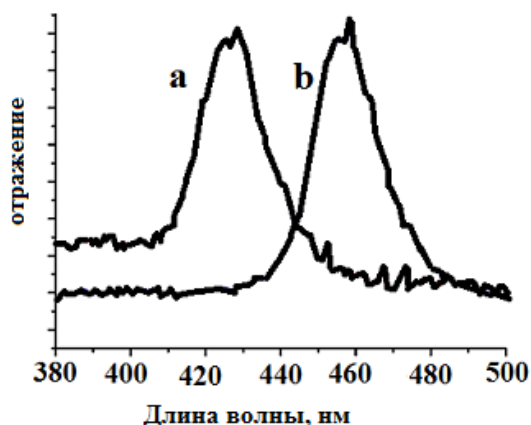


Рис.13. Спектры зеркального отражения опала до и после наполнения оксидом цинка (б).

Длинноволновая собственная ПЛ опала не проявляется. Можно предположить, что она подавляется люминесценцией красителя за счет передачи возбуждения от поверхностных центров опала к молекулам красителя. Сравнительные исследования спектров люминесценции красителя в нанокompозите и спиртовых растворах показывают, что они не сильно отличаются друг от друга. Такая схожесть спектров указывает, что при малых концентрациях краситель в порах находится в форме мономера и не наблюдается его заметная димеризация.

Используя метод химического осаждения из раствора для наполнения пор искусственного опала нанокристаллами оксида цинка (ZnO), были созданы нанокompозиты опал-ZnO с ярко выраженной ФЗЗ. На рис.13 приведены спектры зеркального отражения пустого и наполненного ZnO опала. После наполнения оксидом цинка спектр отражения нанокompозита сместился в длинноволновую сторону и находится при ~460 нм. Зная положения Брегговских дифракционных пиков отражения пустого и наполненного ZnO опала, можно оценить степень наполнения пор в нанокompозите опал-ZnO.

$$f = (\lambda_2 - \lambda_1) (n_{\text{SiO}_2} 0.74 + n_{\text{ВО}_3} 0.26) / \lambda_1 (n_{\text{ZnO}} - n_{\text{ВО}_3})$$

Принимая $D = 195$ нм, $\lambda_1 = 430$ нм, $\lambda_2 = 460$ нм, $n_{\text{SiO}_2} \sim 1.45$, $n_{\text{ZnO}} \sim 2.2$ и $n_{\text{ВО}_3} = 1$, получаем $f \sim 0.078$. Другими словами, 7.8% всего объема опала или 30% объема

пустот наполнены нанокристаллами ZnO.

На рис. 14(a) приведена микрофотография поперечного сечения опала после наполнения оксидом цинка. Одновременно с ростом в порах опала нанокристаллы ZnO синтезировались и на поверхности подложек из сапфира, помещенных рядом с образцами опала во время реакции. Эти нанокристаллы ZnO (рис. 14(б)) в среднем имеют размер 100-500 нм и форму усеченной шестигранной пирамиды, характерной для монокристаллов ZnO. Спектр люминесценции нанокристаллов содержит только один сильный пик в районе 382 нм. Этот пик приписывается экситонной люминесценции ZnO (рис.15).

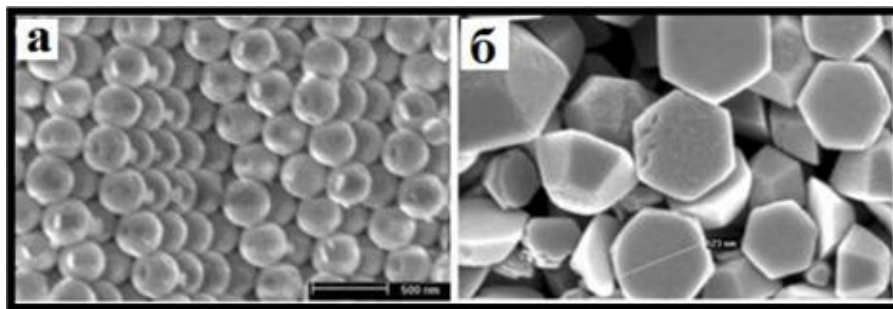


Рис. 14. Микрофотографии опала после наполнения оксидом цинка (а) и нанокристаллов оксида цинка, осажденных на сапфировую подложку (б).

Исследования показали, что в нанокompозите опал-ZnO под воздействием УФ излучения возбуждается люминесценция. Ее спектр смещен в сторону коротких длин волн по сравнению со спектром люминесценции пустого опала (рис.16).

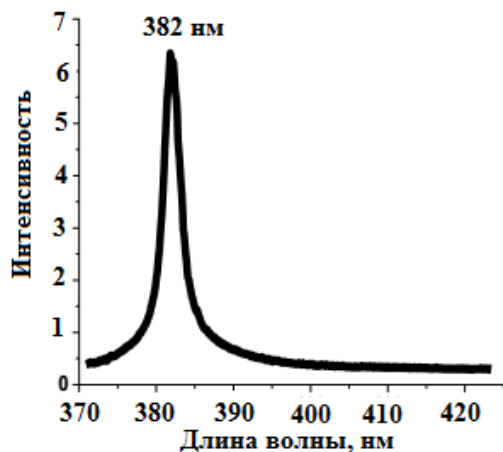


Рис.15. Спектр люминесценции нанокристаллов оксида цинка, осажденных на сапфировую подложку.

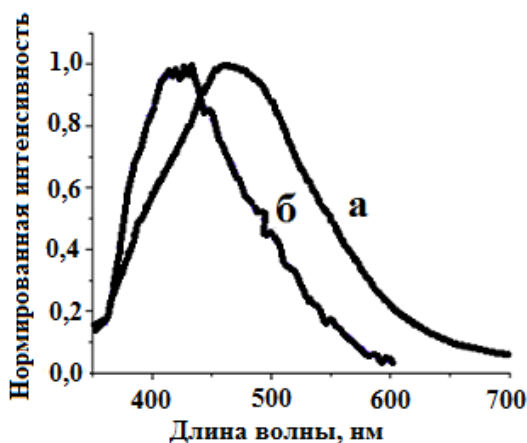


Рис.16. Спектры люминесценции нанокompозита опал-ZnO (б) и пустого опала (а). Спектры нормированы по своим максимумам.

Максимум спектра люминесценции нанокompозита находится в области 400-450 нм и на его фоне прослеживается слабая полоса в районе 380 нм. В составе нанокompозита опал-ZnO экситонная люминесценция оказывается подавленной, в то время как свечение опаловой матрицы усиливается. Подавление экситонной люминесценции ZnO и усиление свечения опаловой матрицы нанокompозита, возможно, связано с передачей энергии от

нанокристаллов ZnO к центрам свечения, локализованным на поверхности шаров диоксида кремния, из которых состоит искусственный опал.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые систематически и комплексно изучена люминесценция, возбуждаемая в искусственном опале, которая простирается от линии возбуждения до 700 нм с максимумами при ~400 и ~500 нм. Люминесценция затухает не экспоненциально – длительность быстрой компоненты не больше 9 нс на полувысоте импульса, но имеется слабая медленная составляющая с длительностью более 1 мкс.

2. Исследованные образцы искусственного опала состоят из упорядоченных, одномерных и плотноупакованных шаров SiO₂ с диаметрами ~195 нм, ~240 нм, ~285 нм и имеются ярко выраженные фотонные запрещенные зоны при 430, 525 и 620 нм.

3. Впервые показано, что полоса люминесценции при ~500 нм относится к центрам свечения, локализованным на поверхности наноразмерных шаров диоксида кремния, из которых состоит искусственный опал. Воздействие внешних факторов (температура, атмосфера окружения, состояние поверхности и т.д.) приводят к разрушению и/или созданию новых и/или модификации имеющихся центров поглощения и люминесценции, которые состоят из элементов диоксида кремния и примеси и могут иметь вид ≡Si-O...M, где M – атом примеси.

4. Обнаружено, что порошкообразные наноразмерные частицы аморфного SiO₂ под воздействием УФ излучения проявляют люминесценцию с максимумами при ~460 и ~530 нм, природа которой одинакова со свечением искусственного опала.

5. Впервые показано, что в спектре люминесценции прозрачного стеклообразного образца, полученного плавлением искусственного опала, присущая опалу полоса люминесценции при 500 нм исчезает и его спектр становится похожим на спектр люминесценции массивных образцов высокочистого кварцевого стекла. Этот результат однозначно доказывает принадлежность длинноволновой полосы люминесценции к центрам свечения, локализованным на поверхности наноразмерных шаров диоксида кремния, из которых состоит искусственный опал.

6. Созданы нанокомпозиты с новыми свойствами путем наполнения пор искусственного опала органическим красителем и нанокристаллами оксида цинка. Установлено, введение красителя приводит к подавлению собственной люминесценции опала, а нанокристаллов оксида цинка к ее усилению, возможно, за счет обмена возбуждениями между поверхностными центрами опала и введенными элементами.

7. Полученные результаты создают основу для создания различных нанокомпозитов на базе искусственного опала с заданными оптическими свойствами и открывают новые возможности в исследовании природы поверхностных центров поглощения и люминесценции.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.27.06.2017.FM/T.34.01 ON AWARD OF
SCIENTIFIC DEGREE OF DOCTOR OF SCIENCES AT THE INSTITUTE
OF ION-PLASMA AND LASER TECHNOLOGIES**

INSTITUTE OF ION-PLASMA AND LASER TECHNOLOGIES

SHAYMARDANOV ZAFAR SHAPAATOVICH

**LUMINESCENCE PROPERTIES AND PHOTONIC
BAND GAP OF ARTIFICIAL OPAL AND
NANOCOMPOSITES MADE ON ITS BASIS**

01.04.05 – Optics

**ABSTRACT OF DISSERTATION OF THE DOCTOR OF
PHILOSOPHY (PhD) ON PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

TASHKENT – 2018

The subject of PhD dissertation is registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of Republic of Uzbekistan under number B2017.4.PhD/FM158.

Dissertation has been prepared at the Institute of Ion-plasma and laser technologies.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) has been posted on the website of the Scientific Council (www.iplt.uz) and on Information-educational portal «ZiyoNet» (<http://www.ziynet.uz>).

Scientific supervisor: **Kurbanov Saidislam Saidgazievuch**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences

Official opponents: **Semenov Denis Ivanovich**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences

Akhmadjanov Turgunali
Candidate of Physical and Mathematical Sciences

Leading organization: **Tashkent state Technical University**

The defense will take place on «__» _____ 2018 at _____ at the meeting of the Scientific Council number DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 at Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies (Address: 100125, Uzbekistan, Tashkent, 33 Durmon yuli street. Phone/fax: (+99871) 262-32-54, e-mail: info@iplt.uz).

The PhD dissertation is can be looked through in the Information-Resource Centre of the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies (is registered № __) (Address: 100125, 33, Durmon yuli str., Tashkent, Uzbekistan. Phone: (+99871) 262-31-69).

The abstract of the dissertation is sent out on «__» _____ 2018.

(Mailing report № _____ on «__» _____ 2018).

Kh.B.Ashurov

Chairman of scientific council on award of scientific degrees, doctor of technical science, senior researcher

D.T.Usmanov

Scientific secretary of scientific council on award of scientific degrees, candidate physical and mathematical science

B.E.Umirzakov

Chairman of scientific seminar under scientific council on award of scientific degrees doctor of physical and mathematical science, professor

INTRODUCTION (abstract of the PhD dissertation)

The aim of the research is to study the origin of surface emission centers of artificial opal, effects of photonic band gap on spectral and kinetic properties of the luminescence of opal and elements embedded into the opal's voids.

The objects of the research are samples of artificial opal with different photonic band gap positions, consisting of nanosize spheres of silicon dioxide.

The scientific novelty of the research consists of the following:

Under UV radiation in artificial opal samples a luminescence extending from the excitation line up to 700 nm, with maxima in the region of 400 ± 500 nm have been observed and studied. A decay of the luminescence does not obey an exponential law - the duration of the fast component is shorter than 9 ns at half-height of the pulse, but there is a weak slow component with a duration longer than 1 μ s;

It was established that an increase in the sample temperature, high-temperature annealing in air and in vacuum predominantly affects the intensity of the luminescence band at 500 nm;

It was shown that in the luminescence spectrum of a transparent glassy sample obtained by melting the opal, the luminescence band at 500 nm inherent to artificial opal disappears;

It was found that powder nanoscale particles of amorphous SiO_2 under UV radiation exhibit luminescence with maxima at ~ 460 and ~ 530 nm, and a decrease in the surface area of nanoparticles leads to an increase in the integrated intensity of the short-wavelength luminescence band while the long-wavelength luminescence band integrated intensity decreases;

It was established that an infiltration of an organic dye into the opal pores leads to suppression of the intrinsic luminescence of artificial opal due to the transfer of excitation from the opal surface centers to dye molecules;

It was shown that in the artificial opal-ZnO nanocomposite, the exciton luminescence of ZnO is suppressed due to the transfer of excitation from ZnO nanocrystals to the luminescent centers localized on the surface of silica spheres composing artificial opal.

Implementation of the research results. The use of scientific results obtained in the thesis, in particular the effect of surface defects on optical characteristics of the artificial opal, allows to create nanocomposites with predicted optical properties on the basis of artificial opal by embedding various materials into its pores, manipulating the position of the photonic band gap and modifying the luminescence spectrum of the embedded into pore elements.

Publication of the research results. The main results of the thesis were published in 25 research works, of these 11 are scientific articles and 14 are conference proceedings.

The structure and volume of the dissertation. The thesis is presented on 130 pages consisting of an introduction, four chapters, a conclusion and a list of references.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть, Part I)

1. Shaymardanov Z.Sh., Kurbanov S.S., Rakhimov R.Y. Effect of density packing on luminescence of amorphous SiO₂ nanoparticles // Journal of Optics and Spectroscopy (Springer link USA), 2016, Vol. 120, No. 6. p.922-925. (№4, Journal Citation Reports; IF = 0.76).

2. Kurbanov S.S., Jeon H.C., Shaymardanov Z.Sh., Rakhimov R.Y., Kang T.W., Photoluminescence from porous textured ZnO films grown by chemical bath deposition // Journal of Luminescence 2016. – Vol. 170. –pp. 168–173. (№4, Journal Citation Reports; IF = 2.72).

3. Kurbanov S.S., Shaymardanov Z.Sh., Kasymdzhanov M.A., Zakhidov E.A., Khabibullaev P.K., Kang T.W. Modification of photoluminescence spectrum of artificial opal under external effects // Journal of Physica B: Physics of Condensed Matter. – (Netherlands), 2008. - Vol.403. № 10. - pp. 1916-1921. (№4, Journal Citation Reports; IF = 1.77).

4. Kurbanov S.S., Shaymardanov Z.Sh., Kasymdzhanov M.A., Khabibullaev P.K., Kang T.W. The luminescence of organic dye in nanocomposites based on synthetic opal and porous aluminum oxide // Journal of Optical Materials. – (Netherlands), 2007. – Vol. 29. № 9. – pp. 1177-1182. (№4, Journal Citation Reports; IF = 2.38).

5. Kurbanov S.S., Shaymardanov Z.Sh., Kasymdzhanov M.A., Zakhidov E.A., Khabibullaev P.K. Luminescence of a nanocomposite based on ZnO-filled synthetic opal // Journal of Optics and Spectroscopy (Springer link USA). - S.Petrburg, 2008. - Vol. 105. №5. - pp. 745–749. (№4, Journal Citation Reports; IF = 0.76).

6. Kurbanov S.S., Shaymardanov Z.Sh., Kasymdzhanov M.A., Zakhidov E.A., and Khabibullaev P.K. Photo-and thermobleaching of luminescence centers in synthetic opals // Journal of Applied Spectroscopy. – (Springer link USA), 2005. - Vol. 72. №5. – pp. 679-684. (№4, Journal Citation Reports; IF = 0.572).

7. Шаймарданов З.Ш., Курбанов С.С., Касымджанов М.А., Хасанов О.Г., Хабибуллаев П.К. Восстановление спектральных характеристик люминесценции синтетического опала, подвернутого внешним воздействиям // Узбекский физический журнал. – Ташкент, 2009. – Том 11. –№5-6. – С.334–340. (01.00.00.№5).

8. Курбанов С.С., Шаймарданов З.Ш., Хасанов О.Г., Касымджанов М.А., Хабибуллаев П.К., Канг Т.В. Наноконпозиты органический краситель-синтетический опал и органический краситель-пористый оксид алюминия // Узбекский физический журнал. – Ташкент, 2007. – Том 9. –№ 2. – С.103-1103. (01.00.00.№5).

9. Курбанов С.С., Шаймарданов З.Ш., Касымджанов М.А., Хабибуллаев П.К. Модификация поверхностных центров свечения в синтетическом опале //

Узбекский физический журнал. – Ташкент, 2006. – Том 8. – № 6. – С.335–340. (01.00.00.№5).

10. Касымджанов М.А., Курбанов С.С., Хабибуллаев П.К., Шаймарданов З.Ш. Люминесценция синтетических опалов влияние температуры на ее спектр // Узбекский физический журнал. – Ташкент, 2004. – Том 6. – № 3. – С. 188-194. (01.00.00.№5).

11. Захидов Э.А., Касымджанов М.А., Курбанов С.С., Хабибуллаев П.К., Шаймарданов З.Ш. Проявление поверхностных центров свечения в спектрах люминесценции оптических стекол // Узбекский физический журнал. – Ташкент, 2002. – Том 4. – № 5-6. – С. 334-339. (01.00.00.№5).

II бўлим (II часть; Part II)

12. Шаймарданов З.Ш., Курбанов С.С., Уролов Ш.З. Общие механизмы люминесценции искусственного опала и порошкообразных наночастиц SiO₂ / Седьмая международная конференция по физической электронике *IPEC-7* сборник тезисов докладов–2018 г., 18-19 мая. – Ташкент, Узбекистан. –Стр.152.

13. Шаймарданов З.Ш., Курбанов С.С., Уролов Ш.З., Влияние развитой поверхности искусственного опала на его люминесценцию / Республиканская научно-прикладная конференция «Актуальные проблемы физики», посвященной памяти академика П.К. Хабибуллаева 2017 г., 14 октября. – Ташкент, Узбекистан. –Стр. 53–54.

14. Шаймарданов З.Ш., Курбанов С.С., Рахимов Р.Ю., Уролов Ш.З. Исследование люминесцентных характеристик наноразмерных частиц аморфного SiO₂ / материалы докладов Республиканской научной конференции «ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ» – 2016, 27-28 май. – Ташкент.– Стр. 15-17.

15. Шаймарданов З.Ш., Курбанов С.С., Касымджанов М.А. Влияние плотности упаковки наноразмерных частиц аморфного SiO₂ на их люминесценцию /«Физика фанининг ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни» илмий-амалий конференция «IAK-VIII» тезислар тўплами –2015 йил, 24-25-апрел, – Тошкент,– 127-129 бетлар.

16. Шаймарданов З.Ш., Курбанов С.С., Влияние способа очистки, температуры и УФ облучения на люминесценцию искусственного опала / Труды Республиканской Конференции «Республиканская конференция, посвященная 100-летию академика С.А. Азимова» – 2014 г., 6-7 ноября.– Ташкент, – Стр. 137-138.

17. Шаймарданов З.Ш., Курбанов С.С. Проявление объемной и поверхностной центров свечения в спектре люминесценции синтетического опала / The 6th International Physical Electronics Conference *IPEC-6*–2013, 23-25 October, – Tashkent, UZBEKISTAN, – pp. 215-217.

18. Nematov Sh.Q., Shaymardanov Z.Sh. Photo- and thermobleaching of luminescence centers in synthetic opals/ Asia Nanotech Camp–2011, Seoul, (Korea), –August 15-28, Poster Presentation. – pp. 1.

19. Шаймарданов З.Ш., Шерниёзов А.А., Мелиев Л.О. Определение

ширины и положения фотонной запрещенной зоны опалов до и после наполнения ZnO / Актуальные проблемы современной физики и астрономии– 2010 г., 21 май. – Карши. – Стр.157-158.

20. Касымджанов М.А., Шаймарданов З.Ш., Хабибуллаев П.К., Шерниёзов А.А. Спектральные свойства люминесценции поверхностных дефектов красного опала / Республиканская конференция современная физика и ее перспективы, Национальный Университет Узбекистана, Физический факультет – 2009, 12-13 ноября. – Ташкент. – Стр. 73-76.

21. Шаймарданов З.Ш., Курбанов С.С., Касымджанов М.А., Хабибуллаев П.К. Влияние внешних факторов на спектральные характеристики люминесценции синтетических опалов / Труды научно-практического семинара «Лазерная физика, прикладные аспекты оптики и лазерной физики» –2006 г., 22 декабря – Ташкент. – Стр. 52-54.

22. Курбанов С.С., Шаймарданов З.Ш. Люминесценция нанокompозитов на основе синтетического опала и пористого оксида алюминия / Тезисы докладов Республиканской научной конференции "ФИЗИКА В УЗБЕКИСТАНЕ"–2005 г., 27 - 28 сентября. – Ташкент.– Стр.94.

23. Курбанов С.С., Шаймарданов З.Ш., Касымджанов М.А. Лазерно-индуцированная люминесценция синтетических опалов / Труды научно-практического семинара «Лазерная физика и прикладные аспекты лазерной физики» –2004 г. 7 декабря. – Ташкент. Стр.49-54.

24. Касымджанов М.А., Курбанов С.С., Шаймарданов З.Ш. Влияние температуры на спектр люминесценции синтетических опалов / Труды конференции «Фундаментальные и прикладные вопросы физики» –2003 г., 27-28 ноября. – Ташкент. Стр. 441-443.

25. Шаймарданов З.Ш., Курбанов С.С. Исследование центров свечения на поверхности и в объёме оптических стекол / Республиканская конференция молодых ученых. Сборник тезисов – 2002 г. 3-4 декабря.– Ташкент. – Стр. 64-66.

Автореферат «Тил ва адабиёт таълими» журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди (12.07.2018 йил).

Босишга рухсат этилди: 30.08.2018 йил.
Бичими 60x84 ¹/₁₆, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи 3. Адади: 100. Буюртма: № 279.

Ўзбекистон Республикаси ИИВ Академияси,
100197, Тошкент, Интизор кўчаси, 68.

«АКАДЕМИЯ НОШИРЛИК МАРКАЗИ»
Давлат унитар корхонасида чоп этилди.