

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.02/30.12.2019.FM/Т.33.01 РАҚАМЛИ  
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ**

**БОЙБОБОВА СОХИБА ТЎРАМИРЗАЕВНА**

**MeF<sub>2</sub>-TRF<sub>3</sub> (Me - Ca, Ba; TR- Yb, Ce) АСОСИДАГИ МОНОКРИСТАЛЛ  
ВА НАНОКЕРАМИКАЛАРДА РАДИАЦИЯ БИЛАН УЙЎТИЛГАН  
ХОДИСАЛАР**

**01.04.07 – Конденсирланган ҳолат физикаси**

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

**Тошкент – 2020**

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

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

**Content of the dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD) on  
physical and mathematical sciences**

**Бойбобоева Сохиба Тўрамирзаевна**

MeF<sub>2</sub>-TRF<sub>3</sub> (Me - Ca, Ba; TR- Yb, Ce) асосидаги монокристалл ва  
нанокерамикаларда радиация билан уйғотилган ходисалар ..... 3

**Бойбобоева Сохиба Тўрамирзаевна**

Радиационно-стимулированные явления в монокристаллах и  
нанокерамиках на основе MeF<sub>2</sub>-TRF<sub>3</sub> (Me - Ca, Ba; TR - Yb, Ce)..... 24

**Boyboboeva Soxiba Turamirzaevna**

Radiation-stimulated phenomena single crystals and nanoceramics based  
MeF<sub>2</sub>-TRF<sub>3</sub> (Me - Ca, Ba; TR - Yb, Ce)..... 45

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works..... 52

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.02/30.12.2019.FM/Т.33.01 РАҚАМЛИ  
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ**

**БОЙБОБОВА СОХИБА ТЎРАМИРЗАЕВНА**

**MeF<sub>2</sub>-TRF<sub>3</sub> (Me - Ca, Ba; TR- Yb, Ce) АСОСИДАГИ МОНОКРИСТАЛЛ  
ВА НАНОКЕРАМИКАЛАРДА РАДИАЦИЯ БИЛАН УЙҒОТИЛГАН  
ХОДИСАЛАР**

**01.04.07 – конденсирланган ҳолат физикаси**

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

**Тошкент – 2020**

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.2.PhD/FM178 рақами билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Ядро физикаси институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси ([www.inp.uz](http://www.inp.uz)) ва «Ziynet» ахборот-таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбари:**

**Нуриддинов Иззатилло**

физика-математика фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:**

**Джуманов Сафарали**

физика-математика фанлари доктори, профессор

**Умирзоков Болтахужа**

физика-математика фанлари доктори, профессор

**Етакчи ташкилот:**

**М.Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети**

Диссертация ҳимояси Ядро физикаси институти ҳузуридаги DSc.02/30.12.2019.FM/Т.33.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2020 йил \_\_\_\_\_ соат \_\_\_\_\_ даги мажлисида бўлиб ўтди. (Манзил: 100174, Тошкент шаҳри, Улуғбек қўрғони, Ядро физикаси институти. Тел. (+99871) 289-31-41; факс (+99871) 289-36-65; e-mail: [info@inp.uz](mailto:info@inp.uz)).

Диссертация билан Ядро физикаси институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (\_\_\_\_\_ рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100214, Тошкент шаҳри, Улуғбек қўрғони, ЯФИ. Тел. (+99871) 289-31-19).

Диссертация автореферати 2020 йил « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ куни тарқатилди.  
(2020 йил “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ даги \_\_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси)

**М. Ю. Ташметов**

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

**С.Б.Игамов**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби ф.-м.ф.д., катта илмий ходим

**С.В. Артемов**

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

## Кириш (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Хозирги вақтда дунёда флюорит структурасига эга бўлган кристаллар квант электроникасида муҳим роль ўйнаб, ўзларининг изотроплик хусусияти, юқори механикавий мустаҳкамлиги ва иссиқлик ўтказувчанлиги, яхши оптикавий бир жинслилиги билан ажралиб туради. Турли кириндилар, айниқса сийрак ер элементлари билан фаоллаштирилган кристаллар лазер муҳитлари, сцинтилляторлар, голографик материаллар ва ҳ.к. сифатида қўлланилади. Бундай мақсадлар учун бугунги кунда маълум бўлган энг яхши оптикавий, механикавий ва термик хусусиятларга эга эканлиги туфайли амалиёт учун  $\text{Yb}^{3+}$  ва  $\text{Ce}^{3+}$  ионлари билан фаоллаштирилган кристаллар энг истиқболли ҳисобланадилар. Бу кристаллар турли мақсадларда: юқори энергиялар физикасида (тезлатгичларда детекторлар сифатида), тиббиётда (PET ва SPECT томографияларида), ҳавфсизлик тизимида ва бошқа соҳаларда қўлланилиши мумкин.

Бугунги кунда инсон фаолиятининг керамикалар билан боғлиқ бўлмаган бирон бир соҳасини кўрсатиш қийин. Уларнинг энергетикада, ахборотлаштириш соҳасида, асосий sanoat маҳсулотлари ишлаб чиқарилишида, тиббиётда, машинасозликда, радиотехникада, вакуум ва космик техникада татбиқ этилаётганлиги кўрсатилади. Нанокерамикаларга бўлган алоҳида қизиқиш уларнинг бошқа материаллар, масалан, монокристаллар ва шишаларга қараганда турли хилдаги ташқи таъсирларга чидамлироқ эканлиги, олиниш усули ва тайёрланиши жиҳатидан эса кам меҳнат талаб қилиниши билан боғлиқдир. Кейинги пайтларда фторид материалларидаги лазер ва сцинтилляцион хоссаларининг кинетикавий ва бошқа хусусиятларини яхшилаш мақсадида оптикавий фторид керамикаси яратиш усулидан фойдаланишга ҳаракат қилинмоқда. Керамикага ўтиш материалларнинг иссиқлик-физикавий ва механикавий хусусиятарини (иссиқлик ўтказувчанлик, микроқаттиқлик ва қовушқоқ бузилиш хусусиятларини) яхшилаш имкониятини беради. Керамиканинг жозибadorлиги унинг катта ўлчамларга эга намуналарини олиш мумкинлиги, юқори иссиқлик ўтказувчанликка, иссиқликдан бузулишнинг катта параметрларига эга эканлиги билан боғлиқ. Бу билан боғлиқ ҳолда катта қувватларга эга бўлган лазерлар ва керакли ажратиш қобилиятига эга сцинтилляторлар учун фаол муҳит сифатида керамиканинг татбиқ этилиши жуда катта истиқболларга эгадир. Бундан ташқари, керамика тайёрлаш технологияси кристаллар ўстиришнинг анъанавий услубларига қараганда камхаржроқдир.

Республикамызда монокристаллар ва нанокерамикаларда радиация билан уйғотилган жараёнларнинг фундаментал асосларини ўрганишга катта эътибор берилмоқда. Мамлақатимиздаги илм-фанни ривожлантириш ва уни келгусида амалиётда қўллаш учун катта аҳамиятга эга бўлган ушбу фундаментал тадқиқотлар йўналишлари 2017-2021 йилларда Ўзбекистон

Республикасини янада ривожлантириш Стратегиясида<sup>1</sup> ўз аксини топган.  $\text{MeF}_2\text{--TRF}_3$  ( $\text{Me--Ca, Ba; TR--Yb, Ce}$ ) асосида тайёрланадиган монокристалл лазер ва оптикавий материалларда радиацион жараёнлар етарлича тўлиқ ўрганилган бўлишига қарамасдан, оптикавий керамикада радиация таъсирида уйғотиладиган ҳодисалар, керамика структурасидаги ўзига хос тузилишларнинг радиациявий жараёнларга кўсатадиган таъсири бугунги кунда етарлича тўлиқ ўрганилган эмас. Шу сабабли  $\text{MeF}_2\text{--TRF}_3$  ( $\text{Me--Ca, Ba; TR--Yb, Ce}$ ) асосидаги монокристаллар ва нанокерамикаларда кечадиган радиациявий ҳодисаларни қиёсий ўрганиш масалалари ўта долзарбдир.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармони, 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сонли “Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимларини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги, 2018 йил 7 майдаги ПҚ-3698-сонли “Иқтисодиёт тармоқлари ва соҳаларига инновацияларни жорий этиш механизмларини такомиллаштириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида”ги қарорлари ва ушбу йўналишда қабул қилинган бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация ишида ўтказилган тадқиқотлар муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг Ўзбекистон республикаси фан ва технологиялар тараққиётининг устивор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республикада фан ва технологиялар ривожланишининг II. “Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлиги” устивор йўналиши доирасида амалга оширилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Бугунги кунда дунёнинг кўп мамлакатлари олимлари, шу жумладан америкалик (E.Hatch, W.F.Parsons, R.J.Weageley, Grass R.N., Stark W.J.), япониялик (Ishigava H., Kato T., Okada G., Fukuda K, Yanagida T., M.Ito, T.Fukuda), франциялик (Ch.Goutaudier, Y.Guyot, K.Lebbou, G.Baulon), россиялик (Ф.К.Вольнец, В.В.Осико, П.А.Попов, Е.А.Ткаченко, М.Ш.Акчурин, П.П.Федоров, В.А.Орловский, В.А.Демиденко, С.В.Кузнецов, П.А.Попов, Э.Н.Рыжиков, П.А.Родный), хитойлик (J.Luo, L.Ma, W.Chen), руминиялик (I.Nicoara, L.Lighezan, M.Inculescu, I. Inculescu, M.Stef, A.Pruna) ва бошқа олимлар томонидан монокристаллар ва фторидли бирикмалар асосида оптикавий нанокерамикаларни синтез қилиш усулларини ишлаб чиқиш ва уларнинг турли физикавий-кимёвий хоссаларини ўрганиш бўйича катта ишлар амалга оширилган.

Тадқиқотлар олиб бориш жараёнида фотоника элементларида ишлатишда керак бўлган 1 мкм тўлқин узунлигида  $10^{-2}\text{--}10^{-3}$  см<sup>-1</sup> га тенг даража паст оптикавий йўқотишга эга бўлган шаффоф оптикавий фторид керамикаси олиш имконияти мавжуд эканлиги кўрсатилди. Ўтказилган тажрибалар фторид нанокерамикаларнинг монокристалларга нисбатан

<sup>1</sup> 2017 йил 7 февралдаги № ПФ-4947 сонли “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” Ўзбекистон Республикаси Президентининг Фармони.

механикавий ва люминесценциявий хоссалар бўйича бир қатор афзалликларга эга эканлиги, шунингдек, фторид нанокристаллари ва монокристалларининг иссиқлик-физикавий хоссаларининг тўлиқ мос келишлигини кўрсатди.

Шунинг билан бир қаторда, радиация таъсири остида фторид керамикаларининг эгалик қиладиган радиацион характеристикалари охирагача ўрганилмаган ва бу йўналишда синчковли илмий изланишлар олиб бориш талаб этилади. Бу каби изланишлар нанокерамик материалларни лазер, сцинтилляцион ва фан ва техниканинг бошқа соҳаларида кенг қўллашлик нуқтаи назаридан юқори истиқболли ҳисобланади.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация иши Ядро физикаси институти илмий-тадқиқот ишлари режасининг Ф2-ФА-Ф118 рақамли «Ионлаштирувчи нурлар дитекторлари сифатида қўлланиладиган оксид ва фторид қаттиқ жисм материалларида радиация билан стимуллашадиган ҳодисалар қонуниятлари» (2012-2016); ОТ-Ф2-23 рақамли «Оксид ва фторид қаттиқ жисм материалларидаги генерациявий ва рекомбинациявий жараёнларнинг ўзига хос жиҳатлари» (2017-2020) лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади**  $\text{MeF}_2\text{-TRF}_3$  (Me-Ca, Ba; TR-Yb, Ce) асосли монокристаллар ва нанокерамикаларда таққослаш асосида радиация билан стимуллашган жараёнларни ўрганиш ва бу материаллардаги радиациявий жараёнларнинг умумий ва ўзига хос қонуниятларини аниқлашдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

тақтиқ этилаётган материалларидаги спектрал-люминесценциявий, радиацион-оптикавий хусусиятларини ўрганиш;

монокристаллар ва нанокерамикаларда радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлиш қонуниятларини ўрганиш;

монокристаллар ва нанокерамикаларда радиация билан стимуллашган жараёнларнинг умумий ва ўзига хос хусусиятларини аниқлаш;

киритма марказларининг валент ва конфигурациявий ўзгаришлари табиатини аниқлаш;

нанокерамикаларда мавжуд бўлган доначалар ва қатламлар орасидаги чегаравий соҳаларнинг радиациявий хусусиятларга таъсири характерини аниқлаш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида  $\text{MeF}_2\text{-TRF}_3$  (Me-Ca, Ba; TR-Yb, Ce) асосли монокристалл ва нанокерамикалардаги киритма ва хусусий марказлар олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** бўлиб  $\text{MeF}_2\text{-TRF}_3$  (Me-Ca, Ba; TR-Yb, Ce) асосли монокристалл ва нанокерамикалардаги радиация билан стимуллаштирилган жараёнларнинг умумий ва фарқли жиҳатлари ҳисобланади.

**Тадқиқотнинг усуллари:** спектрал люминесцент (фотолюминесценция, гаммалюминесценция) ва абсорбцион (ютилиш спектри) усуллари,

радиациявий жараёнларнинг қонуниятларини аниқлаш учун  $^{60}\text{Co}$  гамма нурлари манбаи, шунингдек, хона ҳароратида нурлантирилган намуналар радиациявий нуқсонларнинг термик барқарорлигини аниқлаш учун муфель печларида 300-900К ҳарорат оралиғида  $50^\circ$  кадам билан қиздириш усуллари ҳам қўлланилди.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйдагилардан иборат:

$\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  асосида синтез қилинган кристаллар ва нанокерамикаларнинг радиацион-оптикавий характеристикаларига керамикавий намуналарда доналараро ва қатламлараро чегараларнинг мавжудлиги билан боғлиқ бўлган иттербий кириндилари таъсир этишининг ўзига хос жиҳатлари аниқланган;

$\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  асосида олинган монокристаллар ва нанокерамикаларда  $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{2+}$  валент ўзгаришлари билан бир қаторда, тугунлар орасидаги  $F_i$  ионлари иштирокида турли структуравий ҳолатларда жойлашган  $\text{Yb}^{3+}$  ионлари ўртасидаги  $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{3+}$  конфигурациявий ўтишлар ҳам амалга ошиши аниқланган;

$\text{MF}_2:\text{TRF}_3$  асосидаги оптикавий нанокерамикаларнинг шу асосдаги монокристалларга нисбатан  $10^8$  рад нурланиш дозасигача радиация таъсирига турғун эканлиги топилган;

нанокерамикавий  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  намуналарда доналараро ва қатламлараро бўлиниш чегараларининг мавжудлиги  $\text{Yb}^{2+}$  марказларнинг икки босқичли тўпланиши ва термик парчаланишига олиб келиши, бунда биринчи босқич, монокристалларда ҳам бўлганидек, тугунлар орасидаги  $F_i$  ионларининг бузилмаган кристалл фазасидаги ҳаракати билан, иккинчи босқич эса  $F_i$  ионларининг доналараро ва қатламлараро бўлиниш чегараларидаги ҳаракати билан боғлиқ эканлиги кўрсатилган;

$\text{BaF}_2\text{-CeF}_3$  нанокерамикавий намуналарда церий билан боғлиқ янги люминесценция марказлари топилиб, улар жуфтлашган церий марказлари ( $\text{Ce}_2$ - марказлар) ва церий ионларининг нанокерамикада доналараро ва қатламлараро чегараларда жойлашган кластер нуқсон ҳолатлари билан ҳосил қилган комплекслари ( $\text{Ce}_3$  ва  $\text{Ce}_4$ ) тарзида идентификация қилинган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйдагилардан иборат:

$\text{BaF}_2\text{-CeF}_3$  асосидаги монокристалларини синтез қилишда фторлаштирувчи агент учиб чиқиб кетишидан кейин қоладиган кўрғошин излари кристалларнинг радиацияга чидамлилигини камайтириши кўрсатилган;

синтез жараёнида фойдаланиладиган ўз-ўзидан фторланувчи  $\text{BaF}_2\text{-HF}$  прекурсор нанокерамикани кўрғошиндан анчагина тозалаб, нанокерамиканинг радиацияга чидамлилигини ошишига олиб келиши аниқланган.

**Олинган натижаларнинг ишончлилиги** кенг доирада замонавий абсорбцион, люминесцент, термо- ва фотоактивациявий услубларнинг қўлланилганлиги, етарлича статистикага эга бўлган тажрибавий натижаларнинг катта ҳажми ва олинган натижаларнинг конденсирланган

ҳолат физикасининг фундаментал қонунларига ва асосий концепцияларига қарши келмаслиги билан асосланган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  ва  $\text{BaF}_2\text{-CeF}_3$  асосида олинган монокристаллар ва нанокерамикаларнинг спектрал ҳамда радиация билан стимуллашган характеристикаларидаги фарқли жиҳатлар нанокерамикавий намуналар структурасидаги мавжуд нанодоначалар ва қатламлар орасидаги ўтиш чегаралари билан боғлиқ эканлигининг аниқланганлигидадир.

Натижаларнинг амалий аҳамияти фторидлар асосида олинадиган нанокерамикаларнинг радиация таъсирига чидамлилиги  $10^8$  радгача юқори эканлиги аниқланганлигида бўлиб, бу лазер ва сцинтилляциявий техниканинг ривожланишига ёрдам бериши мумкин.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.**  $\text{MeF}_2\text{-TRF}_3$  (Me-Ca, Ba; TR-Yb, Ce) монокристаллар ва нанокерамикаларда кечадиган радиация билан стимуллашган ҳодисаларни ўрганиш бўйича олинган натижалар асосида:

$\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  асосида синтез қилинган монокристаллар ва нанокерамикалар учун аниқланган радиацион-оптикавий характеристикаларига иттербий киридисининг таъсир этиш қонуниятлар чет эллик олимлар томонидан иттербий билан фаоллаштирилган кристалл ва нанокерамикалар хусусиятларини ўрганиш жараёнида фойдаланилган (халқаро илмий журналлардаги ҳаволалар [Inorg. Mat.](#), Vol.53 No 3, pp. 313–317, 2017; [J. Phys. Chem. C](#), 2017, Vol. 121, No 51, pp. 28435-28442; [Scient. Bull. of University of California, Santa Cruz, ProQuest Dissertations Publishing](#), 2019, 13811489). Илмий натижаларнинг қўлланилиши  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  асосида олинган монокристаллар ва нанокерамикалардаги баъзи иттербийли марказлар табиатини аниқлаш имконини берган;

$\text{BaF}_2\text{-CeF}_3$  асосида олинган оптикавий нанокерамиканинг радиацияга чидамли эканлигининг аниқланиши чет эллик олимлар томонидан радиация таъсирига чидамли нодир ер элементлари фторидлари асосида синтез қилинадиган нанокерамикавий сцинтилляторларни излаб топиш мақсадида фойдаланилган (халқаро илмий журналлардаги ҳаволалар [Radiation Measurements](#), Vol. 106, pp. 140-145, 2017; [Doklady Physics](#), Vol.61, pp. 50–54, 2016; [J. Am. Ceram. Soc.](#), Vol. 102, pp. 178–184, 2019). Илмий натижаларнинг қўлланилиши баъзи янгидан ишлаб чиқиладиган сцинтилляторларнинг радиация таъсирига чидамлилигини ошириш имконини берган;

$\text{BaF}_2\text{-CeF}_3$  асосида олинган нанокерамикаларда аниқланган церийли марказлар характеристикалари чет эллик олимлар томонидан ишлаб чиқиладиган янги материалларнинг сцинтилляциявий характеристикаларини яхшилаш мақсадида фойдаланилган (халқаро илмий журналлардаги ҳаволалар [J. All. Comp.](#), Vol. 817, No 15, 2020, 153075; [Rad. Phys. and Chem.](#), Vol. 153, pp. 70-78, 2018; [J. Cryst. Growth](#), Vol. 525, 125188, 2019). Илмий натижаларнинг қўлланилиши  $\text{BaF}_2\text{-CeF}_3$  асосида тайёрланган маълум материалда нур чиқариш қобилиятини ошириш ва сцинтилляторлар учун янги таркиблар ишлаб чиқиш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 6 та Халқаро ва 3 та Республика илмий-амалий конференцияларида маъруза қилинди.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 13 илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертацияларнинг асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий журналларда 4 та мақола, шундан 2 таси хорижий журналларда нашр этилган.

**Диссертация тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, тўрт боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан ташкил топган. Диссертациянинг ҳажми 118 саҳифани ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, олиб борилган тадқиқотларнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар тараққиётининг устивор йўналишларига мослиги аниқланган, муаммонинг ўрганилганлик даражаси баён қилинган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари шакиллантирилган, тадқиқотнинг объекти, предмети ва методлари ҳақида маълумотлар келтирилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари аниқланган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларининг тадбиқ этилиши, ишнинг апробацияси, шунингдек, диссертациянинг ҳажми ва структураси ҳақидаги маълумотлар келтирилган.

**“MeF<sub>2</sub>-TRF<sub>3</sub> асосидаги монокристалл ва нанокерамикаларнинг асосий физикавий параметрлари ва спектрал характеристикалари”** деб номланган биринчи бобда флюорит кристалларининг асосий физик хусусиятлари, нодир ер элементлари киритилган флюорит кристалларидаги нодир ер элементлар иштирокидаги оптик марказларнинг турлари, фторид оптикавий нанокерамикалардаги характерли структура ўлчамлари, механикавий хоссалари, спектрал характеристикалари ҳақида абадиётларда мавжуд бўлган маълумотлар таҳлили келтирилган. Адабиётлардаги материаллар таҳлили асосида боб охирида тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари шакиллантирилган.

**“Тадқиқот объектлари ва тажриба методлари”** деб аталган иккинчи бобда тадқиқот объектларининг танлови асосланган, уларни олиш услублари ҳақида маълумотлар келтирилган, ушбу тадқиқотни ўтказиш учун қўлланилган тажриба методларининг ўзига хос жиҳатлари баён қилинган.

Уб киритмаси билан легирланган калций фториди (CaF<sub>2</sub>) ва Се киритмаси билан легирланган барий фториди (BaF<sub>2</sub>) монокристаллари ва нанокерамикалари тадқиқот объекти сифатида танлаб олинган. Иттербий ва церий киритмасининг танланиши унинг люминофорларда, сцинтиляторларда ва лазерларда фаол элемент сифатида амалий мақсадларда кенг тадбиқ

этилиши билан боғлиқ. Монокристаллар вертикал йўналтирилган кристаллашув методи билан ўстирилган. Фторлаштирувчи агент (тозаловчи) сифатида кўрғошин фторидидан фойдаланилган. Киринди таркибининг спектрал таҳлили монокристаллар синтездан кейин уларда кўрғошин излари қолишини кўрсатди. Керамика порошоксимон прекурсорни қайноқ пресшлаш методи билан олинган. Нанокерамика синтезида фойдаланиладиган ўз-ўзидан фторлашувчи  $\text{BaF}_2\cdot\text{HF}$  прекурсоридан фойдаланиш нанокерамикани анчагина тозаланишига олиб келади.

Киридилар концентрацияси  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  монокристаллари ва нанокерамикалари учун 0,1-3,6 моль % ни ва  $\text{BaF}_2\text{:Ce}^{3+}$  учун 0,12 моль % ни ташкил қилди. Ўлчаш ишлари учун ўлчамлари  $1\times 5\times 10\text{мм}^3$  бўлган параллелепипед кўринишида кесиб олинган ва оптикавий сифат даражасида жилвирланган намуналардан фойдаланилди.

Намуналардан 77-300 К ҳарорат оралиғида оптикавий ютилиш (ОЮ), фотолюминесценция (ФЛ) ва гаммалюминесценция (ГЛ) спектрлари ёзиб олинди. Дастлабки (нурлантирилмаган) ва нурлантирилган намуналарнинг ОЮ спектрлари хона ҳароратида тўлқин узунликларининг 190-1100 нм оралиғида Перкин Элмер фирмасининг “Лямбда 35” спектрофотометрида, тўлқин узунликларининг 190-1100 нм оралиғида эса Карл-Цейсс фирмасининг Specord M-40 спектрофотометрида ёзиб олинди. Ўзаро бири-бири билан кесишадиган полосаларни ажратиш учун нурланиш билан вужудга келтириладиган полосалар спектрлари ўлчанди. Бу иш ўрганилаётган намуна ва эталоннинг спектрларини бир-биридан ажратиш билан амалга оширилди.

ФЛ ва уларни уйғотиш спектрлари 200 нм дан 800 нм гача МДР-2 (ЛОМО), SPM-2 (CARL ZEISS) монохроматорлар асосида йиғилган ускунада амалга оширилди. Зондловчи манба сифатида юқори қувватли ксенон лампасидан фойдаланилди. Уйғотувчи қисм МДР-12 монохроматори асосида, ёзиб олувчи қисм эса SPM-20 монохроматори асосида тайёрланди ва спектрлар ФЭУ-106 воситасида ҳамда У5-11 кучайтиргичи ёрдамида ёзиб олинди.

ГЛ  $^{60}\text{Co}$  гамм нурлари манбаи воситасида тўлқин узунликларининг 200-800 нм соҳасида 77-300 К ҳарорат оралиғида уйғотилиб, ФЭУ-100 воситасида МДР-12 монохроматорида ёзиб олинди. Бунда гамма нурлари манбайининг қуввати 300p/c ни ташкил этди.  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ - нурлари манбайи беш метр чуқурликда жойлаштирилди. Нур ўтказгич сифатида қайтариш коэффициенти юқори ( $R\sim 90\%$ ) бўлган алюминий трубкадан фойдаланилди.

Люминесценцияни ўлчашнинг барча ҳолларида ФЭУнинг сезгирлигига тузатиш киритилмади. ОЮ ва ФЛ интенсивликларини ўлчашда тажрибалар хатолиги  $\sim 5\%$  дан ошмади, тўлқин узунликларини аниқлаш хатолиги эса  $\sim 0,05\div 0,5$  нм ташкил этди.

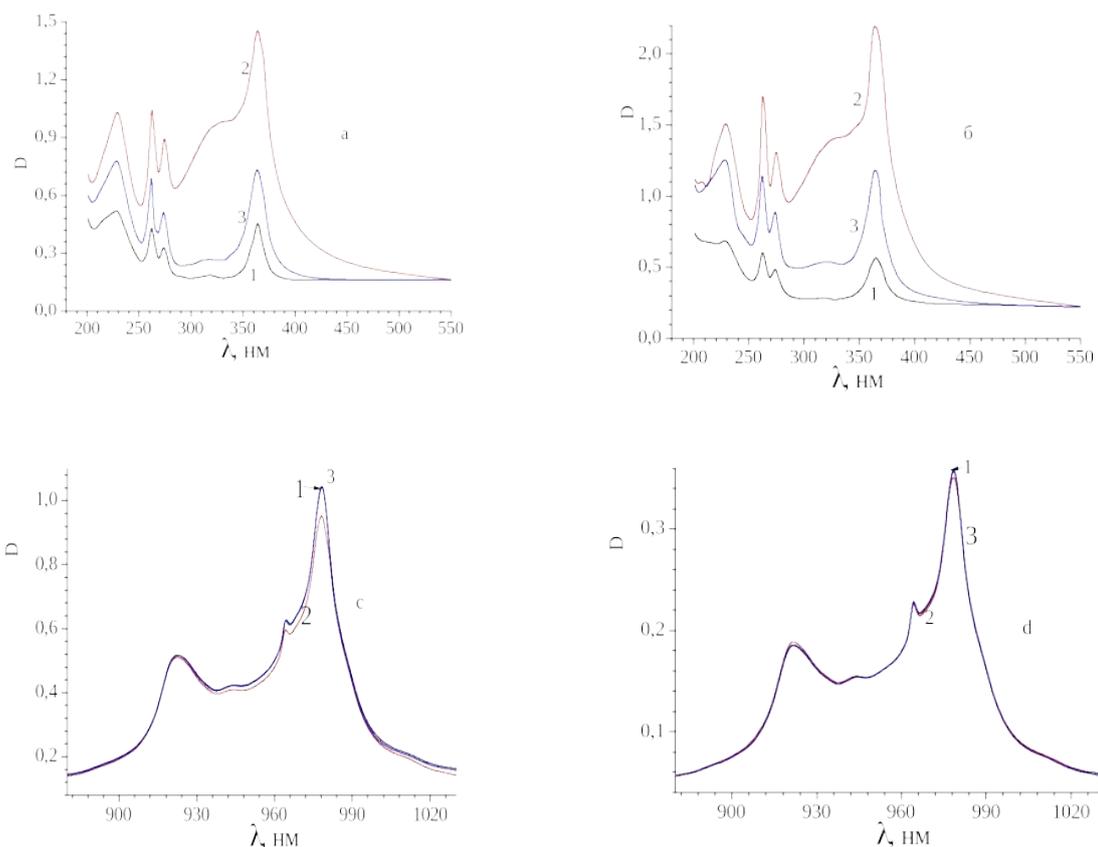
Гамма нурлари билан нурлантириш воситасида вужудга келган ЮПларининг термик стабиллиги ўрганилди. Бунинг учун намуналар ЮПлари интенсивликлари тўйингунига қадар ( $10^8$  рад дозагача)

нурлантирилди, сўнгра СНОЛ-16251/11-ИЗ IP20 типдаги муфель печида 25-600 °C ҳарорат оралиғида 50°C қадам билан қиздирилди. Бунда намуналар белгиланган ҳароратгача қиздирилди, ушбу ҳароратда 30 минут ушлаб турилди, кейин печь ўчирилди. Хона ҳароратигача совуганидан сўнг намуналар олинди ва ОЮ спектрлари ўлчанди.

**“CaF<sub>2</sub>-YbF<sub>3</sub> асосидаги монокристалл ва нанокерамикаларнинг спектрал хусусиятларини ўрганиш”** деб номланган учинчи бобда CaF<sub>2</sub>-YbF<sub>3</sub> монокристалл ва нанокерамикаларининг γ-нурлари таъсиридаги спектрал характеристикалари натижалари келтирилган.

Нурлантирилмаган монокристалл ва нанокерамика наъмуналарининг оптик ютилиш спектрлари (ЮС) деярли бир хил бўлиб, уларда УБ–соҳада Yb<sup>2+</sup> ионларидаги ютилиш билан боғлиқ максимумлари 214, 227, 263, 274, 320 ва 365 нм да бўлган ютилиш поласалари (ЮП), шуниндек 900-1060 нм оралиқдаги ИҚ-соҳада Yb<sup>3+</sup> ионларидаги ютилиш билан боғлиқ максимумлари 922, 940, 945, 964, 978 ва 1010 нмларда жойлашган поласалар мавжуддир (1-расм). 900-1060 нм оралиқдаги ЮП эса Yb<sup>3+</sup> ионларидаги <sup>2</sup>F<sub>7/2</sub>–<sup>2</sup>F<sub>5/2</sub> электрон ўтишларига, 214–360 нм оралиқдаги поласалар электронларнинг Yb<sup>2+</sup> ионларидаги <sup>1</sup>S<sub>0</sub>(4f<sub>14</sub>) сатҳидан <sup>4</sup>f<sub>14</sub>5d сатҳига ўтишларга мос келади. *f-f* ўтишлардан фарқли ўларок, *f-d* ўтишга рухсат берилганлига сабабли, уларнинг ЮП интенсивлиги *f-f* ўтишларига нисбатан тахминан 10<sup>4</sup> марта каттароқ бўлади. 900-1060 нм оралиқдаги ЮП эса Yb<sup>3+</sup> ионларидаги <sup>2</sup>F<sub>7/2</sub>–<sup>2</sup>F<sub>5/2</sub> электрон ўтишларига, 214–360 нм оралиқдаги поласалар электронларнинг Yb<sup>2+</sup> ионларидаги <sup>1</sup>S<sub>0</sub>(4f<sub>14</sub>) сатҳидан <sup>4</sup>f<sub>14</sub>5d сатҳига ўтишларга мос келади. *f-f* ўтишлардан фарқли ўларок, *f-d* ўтишга рухсат берилганлига сабабли, уларнинг ЮП интенсивлиги *f-f* ўтишларига нисбатан тахминан 10<sup>4</sup> марта каттароқ бўлади.

Иккала турдаги намуналарда хона ҳароратида 10<sup>5</sup>-10<sup>8</sup> рад дозадаги γ-нурланиши таъсирида 200-400 нм оралиқдаги Yb<sup>2+</sup> ионларининг барча поласалари интенсивлиги ортади (1-расм 2 чизик), 860-1060 нм соҳада эса Yb<sup>3+</sup> ионлари поласалари интенсивлиги бирмунча камаяди, бу эса киритма ионларида Yb<sup>3+</sup> → Yb<sup>2+</sup> валент ўтишлари содир бўлишини кўрсатади. Yb<sup>2+</sup> ионининг γ-нурланишдан кейинги ютилиш поласаси интенсивлиги намуналарни нурлантириш дозасига боғлиқ. Нурлантириш дозасининг ошиши ютилиш поласалари интенсивлиги ортишига олиб келади. Нурланишдан сўнг вақт ўтиши билан иккала наъмунада ҳам Yb<sup>2+</sup> ионларининг барча ЮП интенсивлиги камаяди. Агар 214, 228, 262, 274 ва 364 нм поласалар интенсивлиги бир бирига нисбатан пропорционал равишда камайса, 320 нм поласа интенсивлиги бошқа поласаларга нисбатан анча тез камаяди.



**1-расм. CaF<sub>2</sub>-YbF<sub>3</sub> (3,6 мол %) монокристалли ва CaF<sub>2</sub>-YbF<sub>3</sub> (3 мол %) нанокерамикасининг УБ-сохада (а-кристалл с- керамика) ва ИҚ-сохада (б-кристалл d-керамика) оптик ютилиш спектри: 1)нурлантирилмаган; 2)10<sup>5</sup> рад γ-нурланишдан сўнг; 3) γ-нурланишдан бир кундан сўнг.**

Намуналарда γ-нурланиш таъсирида 978 нм полоса интенсивлиги энг кўп камаяди, 945, 966 ва 990 нм полосалар интенсивлиги эса бирмунча озроқ камаяди, бундан ташқари 922 ва 962 нм полосалар интенсивлиги сезиларли миқдорда ортади.

Нурлантириш тўхтатилган сўнг спектрнинг дастлабки ҳолатга тикланиш жараёни бошланади, лекин бир кундан кейин тўлиқ дастлабки нурланмаган ҳолига қайтмайди. Нурланишдан бир сутка ўтгач, максимал қиймати 262, 274, 320, 364 нм бўлган полосаларга мос келувчи марказлар миқдори дастлабки нурланишсиз ҳолтадагига нисбатан бирмунча кўп, аммо 945, 965, 978 нм полосаларга мос келувчи марказлар концентрацияси эса дастлабки ҳолатдагига нисбатан камроқ бўлади. Дастлабки нурлантирилмаган, нурлантирилган зоҳоти ва нурлантиришдан сўнг маълум бир вақт ўтгандан кейин олинган оптикавий ютилиш спектрларини таққослаш ва таҳлил қилиш, намуналарда нурлантириш вақтида ва ундан сўнг Yb<sup>3+</sup> → Yb<sup>2+</sup> валент ўтишлардан ташқари Yb<sup>3+</sup> ҳолатларининг ўзида мураккаб Yb<sup>3+</sup> → Yb<sup>3+</sup> ўтишлар ҳам вужудга келишидан далолат беради.

CaF<sub>2</sub>-YbF<sub>3</sub> намунасида спектрининг 900-1000 нм соҳаси кузатилаётган 922, 962 нм даги ютилиш полосаси – кубик; 967-969 нм даги полоса – тетрагональ; 910, 936, 966 ва 976 нм дагиси – тригональ; 945 и 956 нм дагиси

– кичик кластер; 978 нм дагиси – гексаметрик кластер марказлари билан боғлиқдир. Тажрибаларимиз 922, 965, 978 нм даги полосалар мураккаб ва уларда бир нечта  $Yb^{3+}$  марказларининг ютилиш полосалари ўзаро қопланган эканлигини кўрсатди.

УБ ва ИҚ сохалардаги ЮП интенсивлиги кристалл ва керамикага киритилган иттербий киритмасининг концентрациясига боғлиқ бўлади. Киритма концентрациясининг ошиши билан УБ ва ИҚ-сохалардаги ЮП интенсивлиги ортади. Ўстирилган кристаллнинг турли жойларидан олинган намуналарда ўлчанган ЮС шуни кўрсатдики, турли намуналарда УБ соҳасидаги ютилиш интенсивлиги турлича, бу эса  $Yb^{2+}$  ионлари кристалл бўйлаб нотекис тақсимланганлигини кўрсатди. Агар УБ-сохада ютилиш коэффиценти катта бўлса, у холда ИҚ-сохада ютилиш коэффиценти кичик бўлади ёки бунинг аксинча. Бу ходиса киритма концентрацияси бир хил бўлган холда кристалларда ҳам, керамика намуналарида ҳам кузатилди.

γ-нурлари билан нурлантириш кристалларда ҳам, керамикада ҳам иттербий ионлари концентрациялари нисбатининг кучли ўзгаришига олиб келди.  $Yb^{2+}$  иони концентрацияси кўп бўлган дастлабки намуналарда γ-нурланишдан кейин  $Yb^{3+} \rightarrow Yb^{2+}$  валент ўзгаришлари камроқ,  $Yb^{2+}$  иони концентрацияси кам бўлган намуналарда эса  $Yb^{3+} \rightarrow Yb^{2+}$  валент ўзгаришлари кўпроқ содир бўлади. Нурланиш таъсирида  $Yb^{3+}$  ионларининг валент ўзгаришлари монокристалларда кучли намоён бўлади. γ-нурланишдан сўнг кубик  $O_h$  марказларига мос келувчи 922 нм полоса ҳар иккала тур намунада ҳам ортади, бу эса нурланиш таъсирида катта кластер парчаланиши ҳисобига янги уч валентли кубик ҳолатлар пайдо бўлишига олиб келади. Керамикаларда  $Yb^{3+} \rightarrow Yb^{3+}$  ўтишлар, яъни  $Yb^{3+}$  ионлари билан боғлиқ структуравий ўзгаришлар монокристаллга нисбатан кўпроқ содир бўлади.

Нурлантирилган намуналарни хона хароратида қоронғи жойда сақлаш шуни кўрсатдики, спектрлар намуналарнинг дастлабки нурлантирилмаган ҳолати томон бирмунча қайта тикланади, бу нарса эса тугунлар орасида жойлашган квазистабиль фтор ионларининг харакати билан боғлиқдир

Вақт ўтиши билан иккала турдаги нурлантирилган намуналарда ҳам  $Yb^{2+}$  ионларининг ЮП интенсивликлари камаяди. Бир кундан сўнг эса намуналарнинг ОЮ спектрлари стабил ҳолатга келади, бу пайтда 320 нм га мос келувчи полоса интенсивлиги деярли дастлабки нурлантирилмаган ҳолатидаги ҳолатга қайтади. Максимал қиймати 978 нм мос келувчи кластер билан боғлиқ ЮП интенсивлиги бир суткадан кейин деярли дастлабки ҳолатигача қайтади, лекин тўлиқ тикланмайди. Максимуми  $\lambda=976$  нм да бўлган бўлган тригонал марказлар билан боғлиқ ЮП интенсивлиги нурланишдан бир соат ўтгач тўлиқ ўз ҳолатига қайтади. Бу жараённи қуйидагича тушунтириш мумкин: намуналар γ- нурлари билан  $10^8$  рад дозада нурлантирилганда тугунлар орасида жойлашган фтор ионлари электрон уйғонишлардан энергия олиб, тетрагонал, тригонал, катта ва кичик кластерлардан узоқлашишади. Натижада ушбу марказлар миқдорининг камайиши (бу ҳақида γ- нурлари билан нурлантирилгандан кейин 940, 965 ва

978нм даги полосалар интенсивлигининг камайиши гувоҳлик беради) билан бир қаторда, УБ – соҳадаги кубик ( $Yb^{2+}$ ) марказлар сони ва қандайдир миқдорда кубик  $O_h$  марказлар ( $Yb^{3+}$ ) миқдорининг ортиши рўй беради. Тугунлар орасида жойлашган ва ўз жойини тарк этган фтор ионлари турғун ёки нотурғун ҳолатларда бўлишлари мумкин. Нотурғун (яъни ностабил) фтор ионлари вақт ўтиши билан ўзларининг дастлабки жойларига қайтадилар, натижада дастлаб тригонал марказлар (976нм) пайдо бўлади, бу тригонал марказлар эса вақт ўтиши билан кластерлар ҳосил қилади. Нурланиш таъсирида кластердан узоқлашган баъзи фтор ионлари ўзларининг дастлабки ҳолатига қайтмайдилар, натижада кластерлар нурлантиришдан бир сутка ўтиб ҳам дастлабки ҳолатларига тўлалигича тикланмайди, бу эса тригонал  $C_{3v}$  ва кубик  $O_h$  марказлар сонинини ортишига олиб келади.

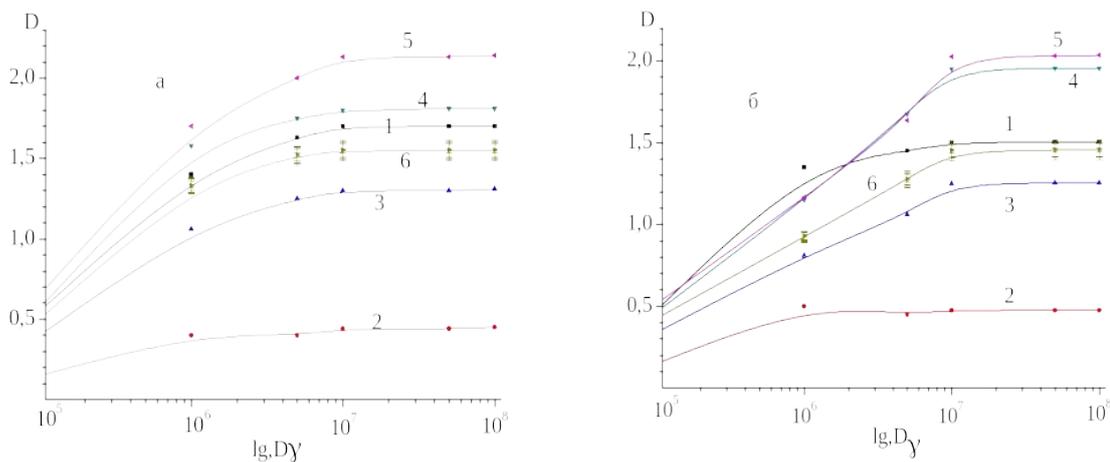
$10^8$  рад дозада нурлантиришдан сўнг 6 ой қоронғида сақлаб ва ундан сўнг  $600^\circ\text{C}$  ҳароратда терморангсизлантирилган Кристалл ва керамика намуналарининг ЮС олинди. ЮС таққослаш, керамика намунасида ЮС интенсивлиги нурлантирилмаган дастлабки ҳолатга тўлиқ қайтмаганлигини, Кристалл намунасида эса ЮП интенсивликлари нурлантирилмаган дастлабки ҳолатга деярли қайтганини кўрсатди. Бундан ү-нурлантириш таъсирида кристалларда ва керамикаларда  $Yb^{3+} \rightarrow Yb^{2+}$  валент ўзгаришлари ва  $Yb^{3+}$  ионлари қатнашадиган структуравий ўзгаришлар вужудга келади, деб хулоса чиқариш мумкин.

Нурлантирилган кристалларни сақлаш, шунингдек уларни қиздириш жараёнларида нурлантириш пайтида ўз жойини тарк этган метастабил фтор ионлари ўзларининг дастлабки жойларига қайтиб келишади. Бу ҳолат кристалларда тугунлар орасида жойлашган фтор ионлари ҳаракатига қаршилиқ қилувчи бўлиниш чегаралари мавжуд бўлмаганлиги туфайли улар дастлабки ҳолатларига қайтиши билан боғлиқ, аммо кристалл структурасида маълум бир миқдор бузулишлар қоладики, уларда тугунлар орасида жойлашувчи фтор ионлари тутиб қолинади. Керамикада тугунлар орасидаги фтор ионлари “ушлаб қолинадиган” бундай соҳалар доначалар ва бўшлиқлар орасидаги бўлиниш чералари бўлиши мумкин. Керамикани  $600^\circ\text{C}$  ҳароратгача қиздирилганда ЮП интенсивлиги дастлабки ҳолатигача қайтмайди, бу эса қиздириш жараёнида керамика структурасидаги кристаллитларнинг йўналишлари ўзгарганлиги, натижада тугунлар орасидаги фтор ионларини тутиб қолувчи бўшлиқларнинг шакли ўзгаришини кўрсатади.

Нурланишдан сўнг ОЮ спектрлари стабил ҳолатда бўлмаганлиги ва улар бир суткадан кейингина стабиллашганлиги туфайли, ЮПларининг дозага боғлиқлигини аниқлаш учун алоҳида полосаларнинг нурлантирилгандан бир сутка кейинги интенсивликларининг  $10^5$ - $10^8$  рад дозалар оралиғидаги ўзгариш графиги тузилди (2-расм).

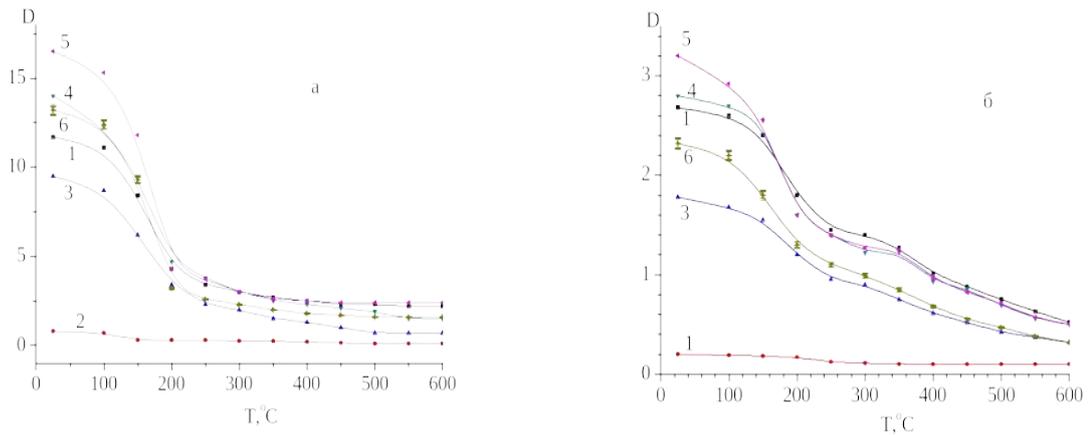
Намуналардаги полосалар интенсивликларининг нурлантириш дозасига боғлиқлиги графигидан кўринадикки,  $Yb^{2+}$  билан боғлиқ барча полосалар интенсивликлари  $10^5$ - $10^7$  рад оралиғида ортиб боради ва  $10^7$  рад дозада

тўйинади. Агар кристалдаги  $\text{Yb}^{2+}$  билан боғлиқ барча ЮП интенсивликларининг ортиши бир босқичда амалга ошса, керамикада 320нм даги полосадан ташқари қолган барча ЮП интенсивликларининг ортиши икки босқичда содир бўлади: биринчи босқич  $10^6$  рад дозагача амалга ошса, иккинчи босқич, худди кристалда бўлгани каби,  $10^7$  рад дозага қадар давом этади.



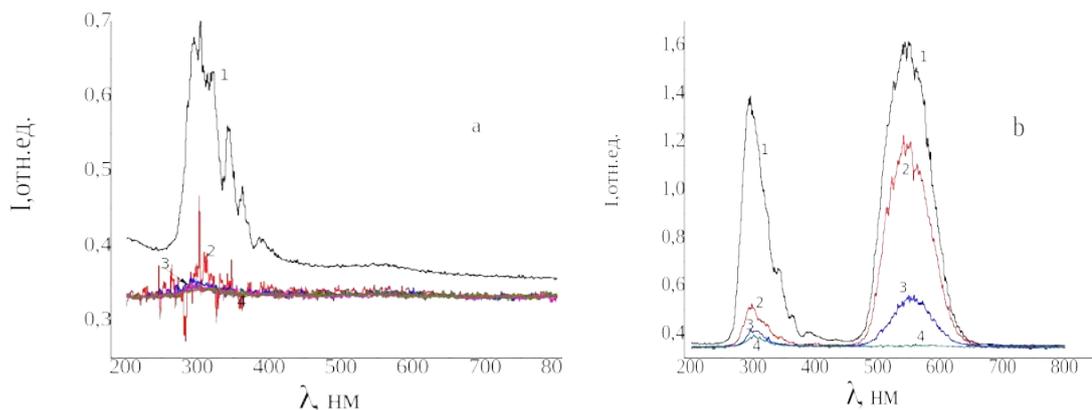
**2-расм.  $\text{CaF}_2:\text{YbF}_3$  кристалли (а) ва керамикаси (б) учун нурлантиришдан бир сутка ўтгандан кейин максимумлари 360нм (1); 320нм (2); 271нм (3); 260нм (4); 227нм (5); 214нм да (6) бўлган ОЮ полосалари интенсивликларининг нурлантириш дозасига боғлиқлиги графикалари**

3-расмда нурлантирилган намуналарда 25-600 °С ҳарорат оралиғида ЮП интенсивликлари ўзгаришининг ҳароратга боғлиқлиги графиги келтирилган. ЮПнинг ҳароратга боғлиқлиги графиги Кристалл ва керамика намуналарида кескин фарқ қилади. Агар кристаллда  $\text{Yb}^{2+}$  билан боғлиқ барча ЮП интенсивликлари ҳарорат ортиши билан бир босқичли камайса, керамикада 320 нм полосадан ташқари барча полосаларда камайиш икки босқичда содир бўлади: биринчи босқич 25-200 °С оралиқни, иккинчи босқич 200-600 °С оралиқни ўз ичига олади. Бизнинг фикримизча, иккинчи босқични пайдо бўлиши керамика намуналарида доначалараро ўтиш соҳаларнинг мавжудлиги билан тушунтирилади. Агар кристаллда терморангсизланиш тугунлар орасида жойлашган  $F_i$  фтор ионларининг бир хил активация энергиясига эга тугунлар орасидаги бўш жойлар бўйлаб ҳаракати туфайли содир бўлса, керамикада тугунлар орасида жойлашган фтор ионлари нанокристалл соҳаларда жойлашган тугунлар орасидаги бундай бўш жойлардан ташқари активация энергияси ундан кескин фарқ қилувчи доначалараро ўтиш чегаралари бўйлаб ҳам ҳаракатланади.



**3-расм.  $\text{CaF}_2:\text{YbF}_3$  кристалл (а) ва керамика (б) намуналарида нурланишдан 6 ой ўтгандан кейин максимумлари 360 нм да(1), 320 нм да (2), 271 нм да(3), 260 нм да (4), 227 нм да (5) ва 214нм да бўлган полосалар учун олинган ЮП интенсивликларининг хароратга боғлиқлиги графиклари**

На кристалл намуналарида, на керамика намуналарида  $\gamma$ -нурлари билан нурлатишдан олдин ва ундан кейин 200-800 нм спектрал ораликда фотолюминесценцияни уйғотиш имкони бўлмади. Аммо суяқ азот хароратида (77К)  $\gamma$ -нурлари билан тўғридан-тўғри нурларилганда гамма-люминесценция (ГЛ) кузатилди. Кристалда 470-650 нм спектрал интервалда максимуми 300 нм да бўлган катта интенсивлигдаги ГЛ ва максимуми  $\sim 550$  нм бўлган жуда кучсиз полоса кузатилди (4-расм а ). Бу полосалар интенсивликлари нисбатни  $\sim 15,5$  ташкил қилади. Керамика намуналарида эса иккала полосанинг интенсивликлари бир-бирига яқин, (4-расм б) ҳатто 550 нм даги полоса 300 нм полосага нисбатан интенсивроқ ҳам.



**4-расм.  $\text{CaF}_2:\text{YbF}_3$  кристалли (а) ва керамикасининг (б) 77 К (1), 150 К (2), 250 К (3), 300 К (4) хароратлардаги гамма-люминесценциялари**

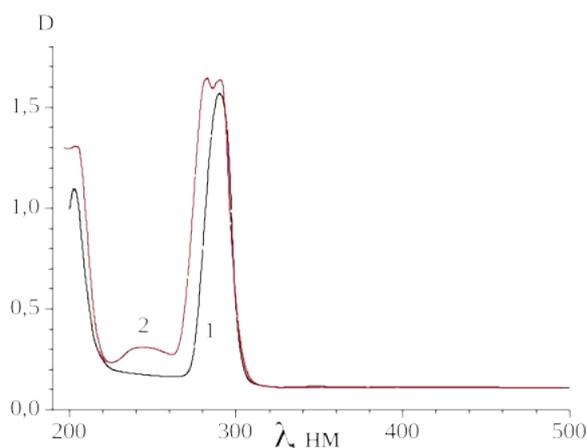
Шу билан бирга керамикада 300 нм полосанинг интенсивлиги кристалдаги интенсивликка нисбатан  $\sim 2$  марта каттароқ. 550 нм даги полоса  $\text{Yb}^{2+}$  ионларининг яхши ўрганилган люминесценция полосасидир. 300 нм даги полоса автолокалланган экситон нурланиши билан боғлиқ бўлиши мумкин.

Бу ҳақида ҳароратни хона ҳароратигача кўтарганда ушбу полосанинг интенсивлиги кескин камайиб кетиши гувоҳлик беради. Люминесценция спектрида кузатиладиган структура  $Yb^{2+}$  ионларининг ўз ютилиш областларида АЛЭлар люминесценциясини ютишлари билан боғлиқ бўлиши мумкин.

Ҳароратнинг қиймати хона ҳароратигача кўтарилганда 550 нм даги полосанинг интенсивлиги ҳам камаяди. 300 нм полоса интенсивлигининг камайиш тезлиги 550 нм полосага нисбатан катта. 550 нм даги полоса интенсивлигининг камайиши  $Yb^{2+}$  ионларининг температуравий сўниши билан боғлиқдир.

**“ $BaF_2:CeF_3$  асосидаги монокристалл ва нанокерамикаларнинг спектрал хусусиятларини ўрганиш”** деб номланган тўртинчи бобида  $BaF_2:CeF_3$  монокристалл ва нанокерамикасини  $\gamma$ -нурлари таъсиридаги спектрал характеристикалари натижаларини тадқиқ қилиш натижалари келтирилган.

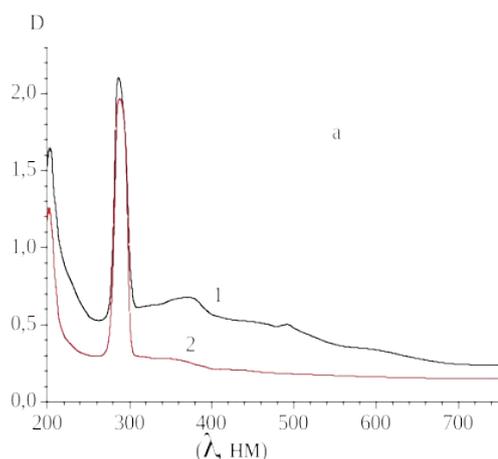
Нурлантирилмаган  $BaF_2:CeF_3$  кристалларининг ЮСларида  $Ce^{3+}$  ионларининг электрон ўтиши билан боғлиқ бўлган максимумлари 205, 285 нм да бўлган (5-расм, 1-чизик) интенсив ЮП мавжуд.



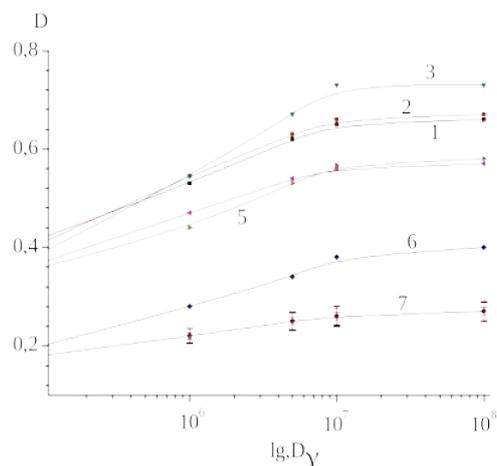
**5-расм. Нурлантирилмаган  $BaF_2:Ce^{3+}$  кристалли (1) ва керамикасининг (2) ютилиш спектри**

Нурлантирилмаган керамика намуналарининг ЮСда бу полосалардан ташқари яна максимуми 282 нм да бўлган қўшимча полоса ҳамда максимуми 250 нм да жойлашган кенг кучсиз полоса аниқланди (5-расм, 2 эгри чизик).

Хона ҳароратида  $10^6$  рад дозадаги  $\gamma$ -нурлари таъсирида кристалл бўяла бошлайди ва ЮС да максимумлари 320, 345, 365, 435, 480, 610 и 750 нм да бўлган ЮПлари пайдо бўлади (6-расм, 1 эгри чизик). Бу полосаларнинг интенсивлиги нурланиш дозаси ортиши билан ортаиб боради ва  $10^7$  рад дозада тўйинишга эришади (7-расм). Лекин бу бўялиш турғун бўлмайди ва 2 ҳафтадан кейин кристалл рангсизланади (6-расм, 2 эгри чизик).



**6-расм. BaF<sub>2</sub>:Ce<sup>3+</sup> кристалларида 5·10<sup>6</sup> рад дозада γ- нурлантиришдан кейин (1) ва 2) нурлантиришдан 1 ҳафта ўтгач ёзиб олинган ЮСлари**

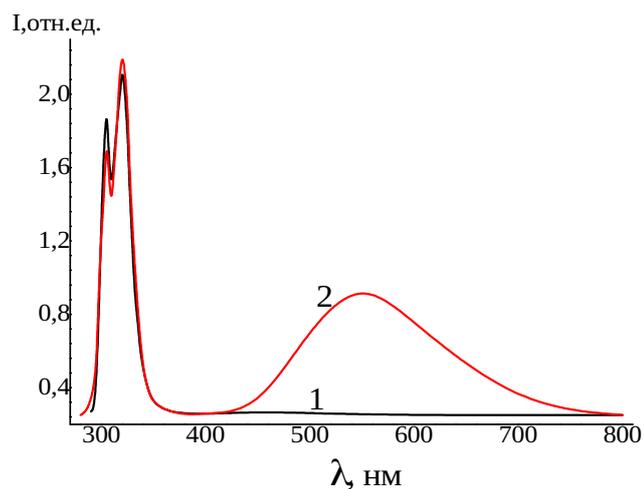


**7-расм. BaF<sub>2</sub>:Ce<sup>3+</sup> кристаллидаги ЮПларининг дозага боғлиқлиги: 320 (1), 345 (2), 365 (3), 435 (4), 480 (5), 610 (6), 750 нм (7) полосалар учун**

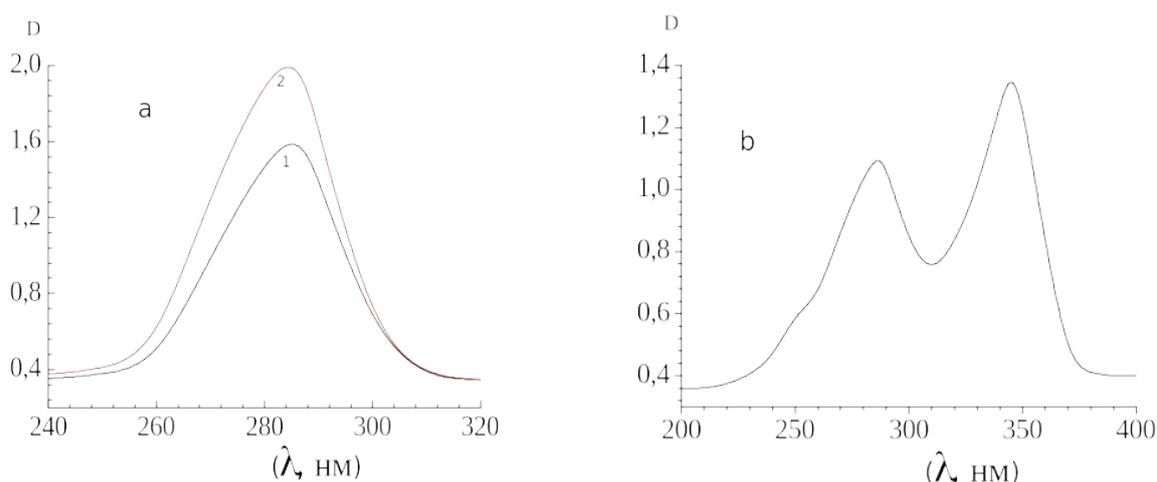
Керамика намуналари кристалл намуналарига нисбатан радиация таъсирига чидамлироқ экани аниқланди. У 10<sup>8</sup> рад дозада γ- нурлантириш таъсирида ҳам ранг олмайди, фақат 10<sup>8</sup> рад дозадаги нурланишда ЮС нинг УБ-соҳасида озгина миқдорда кўтарилиши ва умумий кўриш соҳасида оптик зичликнинг жуда кам миқдорда ортиши кузатилди, аммо аниқ ЮПлари кузатилмади.

BaF<sub>2</sub>:Ce<sup>3+</sup> асосидаги кристаллар ва керамикалардаги радиация таъсирига чидамликдаги фарқ бир қадар уларнинг киритмавий кимёвий таркибига боғлиқ бўлиши ҳам мумкин. Айниқса кристалдан фторловчи агентнинг учиб кетиши натижасида қоладиган қургошин излари унинг радиацияга чидамлигини камайтириши мумкин. Керамикани синтез қилишда қўлланиладиган ўз-ўзинини фторловчи BaF<sub>2</sub>·HF прекурсор олинадиган махсулотнинг кимёвий тозалиги нуқтаи назаридан устунлигини таямлайди.

Кристалл намунасини 285нм полоса билан уйғотилганда ФЛ спектрида максимумлари 305 нм ва 320 нм да бўлган полосалар кузатилди (8-расм, 1 эгри чизик). 200-800 нм ораликдаги спектрал соҳада кристаллда бошқа фотолюминесценция полосалари кузатилмади. Керамика намуналарида 285 нм полоса билан уйғотилганда ФЛ спектрида максимуми 305 нм ва 320 нм бўлган интенсив полосалар ва максимуми 550 нм бўлган кичик интенсивликдаги кенг полоса аниқланди (8-расм, 2 эгри чизик). Керамикада ФЛ нинг 305 ва 320 нм даги полосаларининги уйғотувчиси битта полоса бўлиб, унинг максимуми 285 нм бўлган полосага тўғри келади (9-а расм). 550 нм полосали ФЛнинг уйғотиш спектрида максимал қиймати 250, 285 и 345 нм бўлган полосалар кузатилди (9-б расм). 285 нм полоса 305 нм ва 320нм даги ФЛ полосасининг уйғотувчиси бўлиб, у 250 ва 345 нм уйғотувчи полосаларни ўз ичига олади.



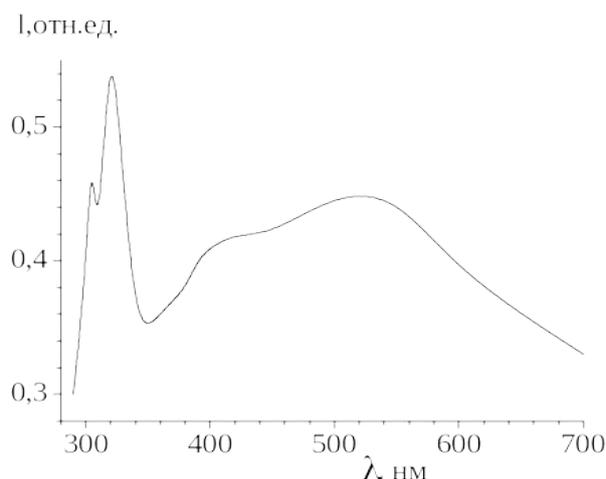
**8-расм. 285 нм полосада нурлантирилмаган  $\text{BaF}_2:\text{Ce}^{3+}$  асосли кристалда (1) ва керамикада (2) уйғотилган ФЛ спектрлари**



**9-расм.  $\text{BaF}_2:\text{Ce}^{3+}$  керамикасининг 305 (1) ва 320нм (2) полосали люминесценцияси уйғотиш спектри (а);  $\text{BaF}_2:\text{Ce}^{3+}$  керамикасининг 550нм полосали люминесценцияси уйғотиш спектри (б)**

250 нм даги полосанинг “думи”да (яъни  $\lambda_{\text{в}}=240$  нм да) уйғотилганда максимуми 305, 320, 425 и 550 нм да бўлган ФЛ полосалари аниқланди (10-расм). 250 ва 340 нм даги полосалар билан уйғотилганда 305 ва 320 нм даги полосаларнинг люминесценцияга қўшган хиссаси 285 нм даги полосада уйғотилгандагига нисбатан кучли камаяди, чунки бу ҳолда ФЛ 285 нм даги полосаларининг “дум”ида жойлашган 305 ва 320нм даги уйғониш полосасида уйғотилди.

Керамика намунасидаги ЮС ва ФЛнинг монкристаллдагига нисбатан мураккаблашувини церий ионларининг нуқсонли ҳолатларда жойлашганлиги, айнироғи – доначалар ораларидаги нуқсонлар ёки дислокацияларда жойлашганлиги билан боғлаш мумкин.



**10- расм. Нурлантирилмаган  $\text{BaF}_2:\text{Ce}^{3+}$  керамикада 250 нм даги полосанинг “дум”ида ( $\lambda_{\text{в}}=240\text{нм}$ ) уйғотилгандаги ФЛ спектри**

Церий ионларининг  $\lambda=280\text{-}360$  нм оралиқдаги люминесценцияси  $\text{Ce}^{3+}$  ионларининг 5d-4f электрон ўтишлари билан боғлиқ. Ионлаштирувчи нурлар таъсирида уйғотиладиган люминесценция интенсивлиги церийнинг концентрациясига боғлиқ бўлиб, у  $\text{Ce}^{3+}$  ионининг 0,1 мол % концентрациясида ўзининг максимал қийматга эришади. Церий концентрациясининг янада ошиши люминесценция интенсивлигининг камайишига олиб келади. Церий ионлари радиолюминесценциясининг концентрациявий сўниши кўзгалган церий ионларидаги нурланишсиз ўтишларнинг ортиши ҳисобига, ёки электрон – тешик рекомбинацияси жараёнида церий ионлари кўзгалиш эҳтимоллигининг камайиши билан боғлиқ бўлиши мумкин.

$\text{BaF}_2\text{-CeF}_3$  монокристалларида  $\text{CeF}_3$  нинг 0,1 мол % концентрациясида асосан тригонал церий марказлари ҳосил бўлади, биз Ce1 марказларни тригонал  $\text{C}_{3v}$  церий марказлари деб идентификацияладик. Киритма концентрацияси ошиши билан кристалларда жуфтлашган ва янада мураккаброқ киритма марказлари, шу жумладан турли кластерлар ҳосил бўла бошлайди. Шундан келиб чиқиб, биз Ce2 марказларни  $\text{Ce}^{3+}$  ионларининг бошқа қўшни  $\text{Ce}^{3+}$  ионлари билан ўзаро таъсири натижасида кичик энергиялар томонга силжиган 5d-4f ўтишларидаги люминесценцияни ҳосил қилувчи жуфтлашган церий марказлари билан боғладик.

Шундай қилиб,  $\text{BaF}_2:\text{CeF}_3$  асосли нанокерамикаларда монокристалдан фарқли равишда люминесценциянинг дублет полосасига эга бўлган Ce1 ( $\lambda_{\text{уйғ}}=285$  нм,  $\lambda_{\text{л}}=305$  и  $320$  нм) марказидан ташқари, қўшимча люминесценция полосаларга эга бўлган Ce2 ( $\lambda_{\text{уйғ}}=310$  нм,  $\lambda_{\text{л}}=370$  нм), Ce3 ( $\lambda_{\text{уйғ}}=250$  нм,  $\lambda_{\text{л}}=425$  нм) ва Ce4 ( $\lambda_{\text{уйғ}}=345$  нм,  $\lambda_{\text{л}}=550$  нм) марказлари аниқланди. Ce1 маркази алоҳида тригональ  $\text{C}_{3v}$  маркази деб идентификацияланди, Ce2 маркази - жуфтлашган церий марказлари, Ce3 ва Ce4 марказлари - нанокерамикадаги чегаравий ва нанокатламлар орасидаги ҳар хил нуқсонлар мажмуасидан иборат церий марказлари билан боғланди.

## ХУЛОСА

**“ $\text{MeF}_2\text{-TRF}_3$  (Me - Ca, Ba; TR- Yb, Ce) асосидаги монокристалл ва нанокерамикаларда радиация билан уйғотилган ходисалар”** мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертация ишининг натижаларидан келиб чиққан ҳолда қуйидаги хулосалар тақдим этилади:

1.  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  асосида олинган ва нурлантирилмаган монокристалл ҳамда нанокерамикаларнинг спектрал характеристикаси бир бирига яқин ва намуналарнинг ютилиш спектрларида икки- ( $\text{Yb}^{2+}$ ) ва уч валентли иттербий киритма ионларига ( $\text{Yb}^{3+}$ ) тегишли полосалар мавжуд. Киритма концентрацияси ортиши билан ҳар иккала турдаги намуналарда ҳам  $\text{Yb}^{2+}$ , ҳам  $\text{Yb}^{3+}$  ионларининг ютилиш полосалари интенсивлиги ортиб боради, аммо намуналарга бир хил концентрацияли иттербий киритмаси киритилган ҳолда битта намунанинг турли қисмларда  $\text{Yb}^{2+}$  ва  $\text{Yb}^{3+}$  ионлари ютулиш полосаларининг нисбати турлича бўлиб, бу ҳолат  $\text{Yb}^{2+}$  ионларининг намуна бўйлаб бир текис тақсимланмаганлиги билан боғлиги кўрсатилди.

2. Гамма нурлари билан  $10^5\text{-}10^8$  рад дозада нурланиш таъсирида  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  монокристалл ва керамика намуналарида икки валентли иттербий ионлари концентрацияси ортиб боади ва  $10^7$  рад дозада тўйинишга эришади, айти пайтда уч валентли иттербий ионлари полосаларининг интенсивликлари камаяди. Нурлантирилмаган намуналарнинг  $\text{Yb}^{2+}$  ионларининг нисбий концентрацияси катта бўлган қисмларида  $\text{Yb}^{3+}$  ҳолатидан  $\text{Yb}^{2+}$  ҳолатига валент ўтишлари кам содир бўлади, намуналарнинг  $\text{Yb}^{2+}$  иони концентрацияси кичик бўлган қисмларида эса  $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{2+}$  валент ўтишлари кўпроқ кузатилади.

3. Иттербий кириндиси бир хил концентрацияда киритилганда нурлантириш тасирида  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  монокристалларида нанокерамикаларга нисбатан  $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{2+}$  валент ўзгаришлари кўпроқ содир бўлади, бу эса керамика намуналарининг монокристалларга нисбатан радиация таъсирига чидамлироқ эканлигини кўрсатади.

4.  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  таркибли монокристалларда ҳам, нанокерамикаларда ҳам ү-нурлари таъсирида иттербий ионларида содир бўладиган  $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{2+}$  валент ўзгаришларидан ташқари,  $\text{Yb}^{3+}$  ионлари атрофида конфигурациявий ўзгаришлар ҳам амалга ошадики, улар турли хил  $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{3+}$  ўтишларни келтириб чиқаради. Доначалар ва қатламлар орасидаги ўтиш чегараларининг мавжудлиги туфайли нанокерамика намуналарида монокристаллардагига нисбатан кўпроқ конфигурациявий ўзгаришлар рўй беради.

5.  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  нанокерамика намуналарида доначалар ва қатламлар орасида ўтиш чегараларининг мавжудлиги нанокерамикаларда  $\text{Yb}^{2+}$  марказларнинг икки босқичли тўпланиши ва термик парчаланишига олиб келиши, бунда биринчи босқич монокристалларда ҳам бўлганидек, тугунлар орасида жойлашган фтор ионлари  $\text{F}_i$  нинг бузулмаган кристалл фазасидаги харакати билан, иккинчи босқич эса нанокерамикаларда тугунлар орасида

жойлашган  $F_i$  ионларнинг доначалар ва қатламлар орасидаги ўтиш чегараларидаги ҳаракати туфайли содир бўлиши кўрсатилди.

6.  $BaF_2:CeF_3$  монокристалл намуналарида асосан тригонал  $C_{3v}$  церий марказлари (Ce1-маркази деб ҳам номланади) ҳосил бўлиб, улар максимуми 305 ва 320 нм да бўлган ва максимуми  $\lambda_{\text{воз}}=285$  нм бўлган уйғотиш полосасига эга люминесценция полосаларининг пайдо бўлишига олиб келади.

7.  $BaF_2:CeF_3$  нанокерамика намуналарида доначалар ва қатламлар орасида ўтиш чегараларининг мавжудлиги монокристаллга нисбатан кўшимча церий марказларининг ҳосил бўлишига олиб келади. Натижада керамикада максимуми 282 ва 250 нм да бўлган янги ютилиш полосаси ҳосил бўлади, фотолюминесценция спектрларида эса монокристалларда ҳам кузатилган  $C_{3v}$  марказидан ташқари, Ce2 марказлари билан боғлиқ бўлган максимуми 370 нм даги ( $\lambda_{\text{воз}}=310$  нм), Ce3 марказлари билан боғлиқ 425 нм даги ( $\lambda_{\text{воз}}=250$  нм) ва Ce4 марказлари билан боғлиқ 550 нм даги ( $\lambda_{\text{воз}}=345$  нм) полосалар ҳосил бўлади.

8. Керамикавий  $BaF_2-CeF_3$  намуналарида аниқланган церий иштрокидаги янги марказларнинг табиати идентификация қилинди: Ce2 марказлар церий ионлари жуфтлигига, Ce3 ва Ce4 марказлари эса церий иштирокидаги марказларнинг доначалар ва қатламлар орасида ўтиш чегараларида жойлашган нуқсонлар билан ҳосил қилган комплексларига тегишли эканлиги кўрсатилди.

9.  $BaF_2:CeF_3$  асосли керамика намуналари шу асосдаги монокристаллга нисбатан радиация таъсиригага чидамли эканлиги аниқланди. Бу ҳодиса монокристалларда тугунлар орасига сиқиб чиқарилган фтор ионлари ўзларининг вакансияларидан эркин узоқлашиб, ҳосил бўлган фтор вакансияларида бўялиш марказлари ҳосил бўла олиши, бундан фарқли равишда керамика намуналарида доначалар ва қатламлар орасида ўтиш чегараларининг мавжудлиги туфайли нанодоначаларида тугунлар орасига сиқиб чиқарилган фтор ионлари ўзининг нанодоначаларидан узоқлаша олмаслиги ва ўз вакансияларига қайтиб, улар билан рекомбинациялашиши сабабли нуқсонлар ҳосил қилма олмаслиги билан боғлиқдир.

10.  $BaF_2-CeF_3$  асосли монокристалли ва нанокерамиканинг радиацияга чидамлилиги фарқининг сабабларидан бири монокристалл ва нанокерамиканинг киритма таркибидаги фарқ билан боғлиқ бўлиши мумкин.  $BaF_2-CeF_3$  асосли монокристалларни синтез қилиш жараёнида фторлаштирувчи модданинг учувчанлигидан сўнг қолган қурғошин излари унинг радиацияга чидамлилигини пасайишига олиб келади. Керамикани синтез қилишда ишлатилган ўз-ўзини фторлаштирувчи  $BaF_2 \cdot nHF$  прекурсори нанокерамикани сезиларли даражада тозалайди ва  $BaF_2-CeF_3$  асосли нанокерамиканинг радиацияга чидамлилигига олиб келади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.FM/Т.33.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ**

---

**ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ**

**БОЙБОБОВА СОХИБА ТУРАМИРЗАЕВНА**

**РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В  
МОНОКРИСТАЛЛАХ И НАНОКЕРАМИКАХ НА ОСНОВЕ  
 $MeF_2$ - $TRF_3$  (Me - Ca, Ba; TR- Yb, Ce).**

**01.04.07 – Физика конденсированного состояния**

**АВТОРЕФЕРАТ**

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

**Ташкент – 2020**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2018.2.PhD/FM178.**

Диссертация выполнена в Институте ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета ([www.inp.uz](http://www.inp.uz)) и Информационно-образовательном портале «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Научный руководитель:** **Нуритдинов Иззатилло**  
доктор физико-математических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Джуманов Сафарали**  
доктор физико-математических наук, профессор

**Умирзоков Болтахужа**  
доктор физико-математических наук, профессор

**Ведущая организация:** **Национальный университет Узбекистана им. М.Улугбека**

Защита диссертации состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 года в \_\_\_ часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 при Институте ядерной физики (Адрес: 100174, г. Ташкент, пос. Улугбек, ИЯФ. Тел.: (+99871) 289-31-41; факс: (+99871)289-36-65; e-mail: [info@inp.uz](mailto:info@inp.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института ядерной физики (регистрационный номер \_\_\_\_\_) (Адрес: 100214, г. Ташкент, поселок Улугбек, НУУз. Тел. (+99871) 289-31-19).

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.  
(протокол рассылки № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2020 г.).

**М. Ю. Ташметов**  
председатель научного совета по присуждению  
ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

**С.Б. Игамов**  
ученый секретарь научного совета по присуждению  
ученых степеней, д.ф.-м.н.  
старший научный сотрудник

**С.В.Артемов**  
заместитель председателя научного семинара  
при научном совете по присуждению  
ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

## Введение (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В настоящее время в мире кристаллы со структурой флюорита играют важную роль в квантовой электронике, отличаются изотропией свойств, высокой механической прочностью и теплопроводностью, хорошей оптической однородностью. Активированные различными примесями, особенно редкоземельными элементами, кристаллы применяются в качестве лазерных сред, сцинтилляторов, голографических материалов и т.п. На сегодняшний день для этих целей наиболее перспективными являются кристаллы, активированные ионами  $\text{Yb}^{3+}$  и  $\text{Ce}^{3+}$ , известные своими хорошими оптическими, механическими и термическими свойствами. Эти кристаллы могут использоваться в различных областях: в физике высоких энергий (в качестве детекторов на ускорителях), в медицине (PET и SPECT томография), в системах безопасности и пр. Отмечается ее использование в энергетике, информатике, производстве основных промышленных материалов, медицине, машиностроении, радиотехнике, вакуумной и космической технике и других отраслях народного хозяйства. Особый интерес к нанокерамике обусловлен тем, что по сравнению с другими материалами, например, монокристаллами и стеклами, она более устойчива к различным внешним воздействиям, а по способу получения и изготовления менее трудоёмкий.

В последнее время в мире предпринимаются попытки улучшения кинетических и других характеристик лазерных и сцинтилляционных свойств фторидных материалов путем создания оптической фторидной керамики. Переход к керамике позволяет улучшить теплофизические и механические характеристики (теплопроводность, микротвердость и вязкость разрушения) материалов. Привлекательность керамики обуславливается такими ее свойствами, как возможность создания образцов больших размеров, высокая теплопроводность, большой параметр теплового разрушения. В связи с этим использование керамики в качестве активной среды для лазеров большой мощности и сцинтилляторов необходимого разрешения является весьма перспективным. Кроме того, технология изготовления керамики экономичнее, по сравнению с получением монокристаллов традиционными ростовыми методами.

В нашей Республике уделяется большое внимание изучению фундаментальных основ радиационно-стимулированных процессов в монокристаллах и нанокерамиках. Направления этих фундаментальных исследований, имеющих большое значение для развития науки нашей страны и её дальнейшего практического применения, отражены в Стратегии<sup>2</sup> действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 гг. Несмотря на то, что радиационные процессы в монокристаллических лазерных и оптических материалах на основе  $\text{MeF}_2\text{--TRF}_3$  ( $\text{Me--Ca, Ba}$ ;  $\text{TR--Yb}$ ,

<sup>2</sup>Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 07 февраля 2017 г.

Се) исследованы довольно подробно, явления, стимулированные воздействием радиации на оптические керамические материалы, влияние специфических особенностей их строения на радиационные процессы на сегодняшний день исследованы недостаточно полно. Поэтому сравнительные исследования радиационных явлений в монокристаллах и нанокерамиках на основе  $\text{MeF}_2\text{-TRF}_3$  (Me–Ca, Ba; TR–Yb, Ce) являются чрезвычайно актуальными.

Экспериментальные исследования, выполненные в настоящей диссертационной работе соответствуют задачам, предусмотренным в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 гг.» от 7 февраля 2017 года, Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-3682 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов» от 27 апреля 2018 года, № ПП-3698 «О дополнительных мерах по совершенствованию механизмов внедрения инноваций в отрасли и сферы экономики» от 7 мая 2018 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данном направлении.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Диссертационная работа выполнена в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в Республике Узбекистан II. “Энергетика, энерго- и ресурсосбережение”.

**Степень изученности проблемы.** К настоящему времени учеными во многих странах мира, в том числе американскими (E.Hatch, W.F.Parsons, R.J.Weageley, Grass R.N., Stark W.J.), японскими (Ishigava H., Kato T., Okada G., Fukuda K, Yanagida T., M.Ito, T.Fukuda), французскими (Ch.Goutaudier, Y.Guyot, K.Lebbou, G.Baulon), российскими (Ф.К.Волынец, В.В.Осико, П.А.Попов, Е.А.Ткаченко, М.Ш.Акчурин, П.П.Федоров, В.А.Орловский, В.А.Демиденко, С.В.Кузнецов, П.А.Попов, Э.Н.Рыжиков, П.А.Родный), китайскими (J.Luo, L.Ma, W.Chen), румынскими (I.Nicoara, L.Lighezan, M.Inculescu, I. Inculescu, M.Stef, A.Pruna) и другими специалистами выполнен большой объем работ по разработке способов синтеза монокристаллов и оптической керамики на основе фторидных соединений и исследованию их различных физико-химических свойств.

В ходе проведения исследований показана возможность получения прозрачной фторидной оптической нанокерамики с низкими оптическими потерями на уровне  $10^{-2}\text{-}10^{-3}$   $\text{см}^{-1}$  на длине волны 1 мкм, пригодной для элементов фотоники. Проведенные исследования продемонстрировали, что фторидная нанокерамика обладает улучшенными по сравнению с монокристаллами механическими и люминесцентными свойствами, установлен факт полного совпадения теплофизических характеристик фторидной нанокерамики и монокристаллов.

Наряду с этим, радиационная характеристика фторидной нанокерамики, стимулированной воздействием радиации, не до конца изучена и требуется проведение детальных исследований в данном направлении. Такого рода исследования представляют большую перспективу с точки зрения расширения применения нанокерамических материалов в лазерной, скинтилляционной и других областях науки и техники.

**Связь темы диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационная работа выполнена в рамках научно-исследовательских проектов Института ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан по темам: Ф2-ФА-Ф118 «Закономерности радиационно-стимулированных явлений в оксидных и фторидных твердотельных материалах, применяемых в качестве детекторов ионизирующих излучений» (2012-2016) и ОТ-Ф2-23 «Особенности генерационных и рекомбинационных процессов в широкозонных оксидных и фторидных твердотельных материалах» (2017-2020).

**Целью исследования** является сравнительное изучение радиационно-стимулированных явлений в монокристаллах и нанокерамиках на основе  $\text{MeF}_2\text{-TRF}_3$  (Me–Ca, Ba; TR–Yb, Ce) и выявление общих и специфических особенностей протекания радиационных процессов в этих материалах.

**Задачи исследования:**

исследование спектрально-люминесцентных и радиационно-оптических характеристик исследуемых материалов;

установление закономерностей радиационного дефектообразования в монокристаллах и нанокерамиках;

выявление общих и специфических особенностей радиационно-стимулированных процессов в монокристаллах и нанокерамиках;

определение характера валентных и конфигурационных изменений на примесных центрах;

определение характера влияния межграницных особенностей нанокерамик на радиационные характеристики.

**Объектом исследования** являются примесные и собственные дефектные центры в монокристаллах и нанокерамиках на основе  $\text{MeF}_2\text{-TRF}_3$  (Me–Ca, Ba; TR–Yb, Ce).

**Предметом исследования** являются радиационно-стимулированные явления в монокристаллах и нанокерамиках на основе  $\text{MeF}_2\text{-TRF}_3$  (Me–Ca, Ba; TR–Yb, Ce).

**Методы исследования:** спектральные люминесцентные (фотолюминесценция, гаммалюминесценция) и абсорбционные методы; методы исследования дозовой зависимости накопления радиационных дефектов при облучении гамма-лучами источника  $^{60}\text{Co}$  в пределах доз  $10^5\text{-}10^8$  рад, а также отжиг радиационных дефектов в интервале температур 300-900 К в муфельной печи с шагом  $50^\circ\text{C}$  в облученных при комнатной температуре образцах.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

установлены особенности влияния примеси иттербия на радиационно-оптические характеристики кристаллов и нанокерамик, синтезированных на основе  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$ , обусловленные наличием межзёренных и межплоскостных границ раздела в керамических образцах;

установлено, что в монокристаллах и нанокерамиках на основе  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$ , наряду с валентными преобразованиями  $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{2+}$ , осуществляются конфигурационные  $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{3+}$  переходы между различными состояниями ионов  $\text{Yb}^{3+}$  в структуре образцов, с участием междоузельных ионов  $\text{F}_i$ ;

определена радиационная устойчивость оптической нанокерамики на основе  $\text{MF}_2:\text{TRF}_3$  при дозе облучения  $10^8$  рад по сравнению с монокристаллами на той же основе;

показано, что наличие межзёренных и межплоскостных границ раздела в нанокерамических образцах  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  приводит к двухступенчатому накоплению и отжигу центров  $\text{Yb}^{2+}$  в нанокерамиках, где первая ступень, как и в монокристаллах, обусловлена движением междоузельных ионов фтора  $\text{F}_i$  в ненарушенной кристаллической фазе, а вторая – движением  $\text{F}_i$  в межзёренных и межплоскостных границах раздела;

обнаружены новые цериевые люминесцентные центры в нанокерамических образцах  $\text{BaF}_2\text{-CeF}_3$ , которые идентифицированы как парные цериевые центры (Ce2- центры) и как цериевые ионы в комплексе с кластерными дефектными состояниями (Ce3 и Ce4 центры) на межзёренных границах и границах между нанослоями в нанокерамиках.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

показано, что следовые количества свинца, остающегося после улетучивания фторирующего агента при синтезе монокристаллов  $\text{BaF}_2\text{-CeF}_3$ , приводят к понижению их радиационной стойкости;

установлено, что самофторирующийся прекурсор  $\text{BaF}_2\text{-HF}$ , используемый при синтезе керамики и значительно очищающий нанокерамику от свинца, повышает радиационную стойкость нанокерамики на основе  $\text{BaF}_2\text{-CeF}_3$ .

**Достоверность результатов исследования** подтверждается использованием хорошо апробированных современных абсорбционных, люминесцентных, термо- и фотоактивационных методов исследования, большим объемом экспериментальных результатов с достаточной статистикой и непротиворечивостью полученных результатов с фундаментальными законами и основными концепциями физики конденсированного состояния.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования заключается в установлении отличительных особенностей спектральных и радиационно-стимулированных характеристик монокристаллов и нанокерамик на основе  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  и  $\text{BaF}_2\text{-CeF}_3$ , обусловленных наличием в структуре керамических образцов межзёренных и межплоскостных границ раздела.

Практическое значение результатов заключается в улучшении радиационной устойчивости материалов на основе фторидных нанокерамик до  $10^8$  рад, что может способствовать развитию лазерной и сцинтилляционной техники.

#### **Внедрение результатов исследования.**

На основе полученных результатов по исследованию радиационно-стимулированных явлений в монокристаллах и нанокерамиках на базе  $\text{MeF}_2\text{-TRF}_3$  (Me-Ca, Ba; TR-Yb, Ce):

установленные закономерности влияния примеси иттербия на радиационно-оптические характеристики кристаллов и нанокерамик, синтезированных на основе  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$ , были использованы зарубежными учеными в ходе исследования свойств легированных кристаллов и нанокерамик, активированных иттербием (ссылки в международных научных журналах *Inorg. Mat.*, Vol.53 No 3, pp.313-317; *J. Phys. Chem. C*, 2017, Vol. 121, No 51, pp. 28435-28442; *Scient. Bull.of University of California, Santa Cruz, ProQuest Dissertations Publishing*, 2019, 13811489). Использование научных результатов позволило уточнить природу некоторых иттербиевых центров в кристаллах и нанокерамиках на основе  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$ ;

выявленная радиационная стойкость оптической нанокерамики на основе  $\text{BaF}_2\text{-CeF}_3$  была использована зарубежными исследователями (ссылки в международных научных журналах *Radiation Measurements*, Vol. 106, pp. 140-145, 2017; *Doklady Physics*, Vol.61, pp. 50–54, 2016; *J. Am. Ceram. Soc.*, Vol. 102, pp. 178–184, 2019) для поиска радиационно-устойчивых нанокерамических сцинтилляторов, синтезируемых на основе щелочно-земельных фторидов. Использование научных результатов позволило улучшить радиационную устойчивость некоторых разрабатываемых новых сцинтилляторов;

установленные характеристики цериевых люминесцентных центров в оптических нанокерамиках на основе  $\text{BaF}_2\text{-CeF}_3$  были использованы зарубежными исследователями (ссылки в международных научных журналах *J. All. Comp.*, Vol. 817, No 15, 2020, 153075; *Rad. Phys. and Chem.*, Vol. 153, pp. 70-78, 2018; *J. Cryst. Growth*, Vol. 525, 125188, 2019) для улучшения сцинтилляционных характеристик разрабатываемых новых сцинтилляционных материалов. Использование полученных результатов позволило повысить световой выход известного сцинтилляционного материала на основе  $\text{BaF}_2\text{-CeF}_3$  и разработать новый оптимальный состав для сцинтилляторов.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования докладывались и обсуждались на 6 Международных и 3 Республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе 4 научные статьи в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики

Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, 2 из них в зарубежных научных журналах.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 118 страницы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснованы актуальность темы диссертации, ее обоснованность, определено соответствие проведенных исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложена степень изученности проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены сведения об объектах, предметах и методах исследования, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыты научная и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения о внедрении результатов исследования, апробации работы, а также об объеме и структуре диссертации.

В первой главе **«Обзор литературного материала по физико-химическим и радиационно-стимулированным явлениям в монокристаллах инанокерамиках на основе  $\text{MeF}_2\text{-TRF}_3$  (Me-Ca, Ba; TR-Yb, Ce)»** приводится обзор литературного материала об основных физических свойствах кристаллов флюорита, типах оптических центров редкоземельных ионов в кристаллах флюорита класса  $\text{MeF}_2\text{-TRF}_3$ , характерных структурных размерах нанокерамики, механических, тепловых и спектральных характеристиках монокристаллов и нанокерамики на основе  $\text{MeF}_2\text{-TRF}_3$ . На основе анализа литературного материала в конце главы сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе диссертации **«Объекты для исследования и методика экспериментов»** обоснован выбор объектов исследования, приведены сведения о способе их получения, изложены специфические особенности использованных методов исследования.

Объектами исследования являлись монокристаллы и нанокерамики фторидов кальция и бария, нелегированные и легированные примесями Yb, Ce. Выбор примеси иттербия и церия обусловлен широким практическим использованием в качестве активной среды лазера, активатора в люминофорах и сцинтилляторах. Монокристаллы выращены методом вертикальной направленной кристаллизации. В качестве фторирующего агента (“чистильщика”) использовался фторид свинца. Спектральный анализ примесного состава показал, что после синтеза монокристаллов в них остаются следы свинца. Керамика получена методом горячего прессования из порошкообразного прекурсора. Самофторирующийся прекурсор  $\text{BaF}_2\cdot\text{HF}$ , используемый при синтезе керамики, приводит к значительному очищению нанокерамики.

Концентрация примесей в образцах составляла 0,1-3,6 моль % для  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  и 0,12 моль % для  $\text{BaF}_2\text{:Ce}^{3+}$ . Для измерений использовались образцы, вырезанные из монокристаллов и нанокерамик в виде параллелепипедов размерами  $1 \times 5 \times 10 \text{ мм}^3$ , и полированные до оптического качества образцы, вырезанные из були.

Снимали спектры оптического поглощения (ОП), фотолюминесценции (ФЛ), гамма люминесценции (ГЛ) образцов в температурном интервале 77-300 К. Спектры оптического поглощения исходных и облученных при комнатной температуре образцов измеряли на спектрофотометре «Лямбда 35» фирмы Перкин Элмер в диапазоне длин волн 190-1100 нм, спектрофотометра Spеcord M-40 в диапазоне длин волн 190-900 нм. Для разделения перекрывающихся полос измерялись спектры наведенного поглощения. Это осуществлялось путем снятия разностных СП исследуемого образца и эталона.

Спектры ФЛ и их возбуждения в области от 200 до 800 нм измеряли на установке, собранной на базе монохроматоров МДР-2 (ЛОМО), SPM-2 (CARLZEISS). В качестве зондирующего источника использовалась мощная ксеноновая лампа. Возбуждающая часть содержала монохроматор МДР-12, а регистрирующая часть – монохроматор SPM-20 и спектры регистрировались ФЭУ-106 и через усилитель У5-11.

ГЛ возбуждалась посредством гамма лучей источника  $^{60}\text{Co}$  в интервале длин волн 200-800 нм при температурах 77-300 К и регистрировалась с использованием ФЭУ-106 через монохроматор МДР-12. Мощность дозы  $\gamma$ -источника  $^{60}\text{Co}$  в канале составляла 300р/с. Источники  $^{60}\text{Co}$   $\gamma$ -лучей находились на глубине пяти метров. В качестве светопровода использовалась алюминиевая трубка, имеющая высокий коэффициент отражения ( $R \sim 90\%$ ).

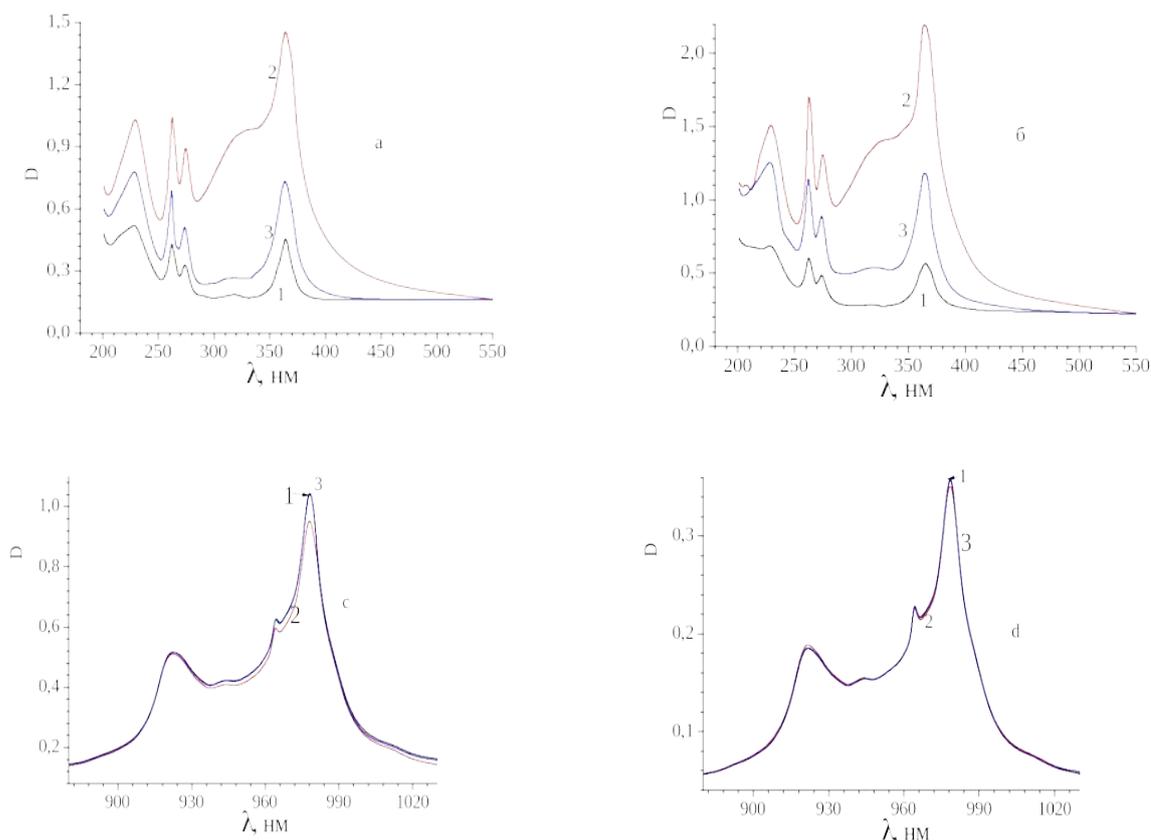
Во всех случаях регистрации люминесценции коррекция на чувствительность ФЭУ не производилась. Ошибка экспериментов при исследовании ОП и ФЛ не превышала  $\sim 5\%$ , а ошибка определения длин волн составляла  $\sim 0,05 \div 0,5$  нм.

Исследованы термические стабильности наведенных  $\gamma$ - облучением ПП. Для этого, образцы были облучены до насыщения интенсивностей ПП (до дозы  $10^8$  рад), затем отжигались в муфельной печи типа СНОЛ-16251/11-ИЗ IP20 с шагом в  $50^\circ\text{C}$  в интервале температур  $25\text{-}600^\circ\text{C}$ . При этом образцы нагревались до фиксированной температуры, выдерживались 30 минут, затем печь выключали. После ее остывания до комнатной температуры образцы извлекали и измеряли спектры ОП.

В третьей главе **«Сравнительные исследования спектральных характеристик монокристаллов и нанокерамик на основе  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$ »** представлены результаты исследований спектральных характеристик в кристаллах и керамике  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  под действием  $\gamma$ - облучения.

Спектры оптического поглощения (ОП) исходных кристаллических и керамических образцов похожи и содержали полосы поглощения (ПП) с максимумами при 214, 228, 262, 274, 320 и 364 нм в УФ- области,

обусловленными ионами  $\text{Yb}^{2+}$ , а также группу линий при 860-1060 нм с максимумами при 922, 940, 945, 964, 978 и 1010 нм в ИК- области, связанными с ионами  $\text{Yb}^{3+}$  (рис.1). ПП при 920–1007 нм соответствуют электронным переходам  ${}^2F_{7/2} \rightarrow {}^2F_{5/2}$  ионов  $\text{Yb}^{3+}$ , а при 214–360 нм – переходам из  ${}^1S_0(4f_{14})$  на уровни  $4f_{14}5d$  ионов  $\text{Yb}^{2+}$ . Поскольку  $f-d$  переходы в отличие от  $f-f$  являются разрешенными, интенсивности соответствующих ПП отличаются примерно в  $10^4$ .



**Рис.1. Спектр оптического поглощения кристалла  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  (3,6 моль %) и керамике  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  (3 моль %) в УФ- области (а- кристалл, с-керамика) и ИК – области (б-кристалл, d-керамика): 1) исходный, 2) после  $\gamma$ - облучения дозой  $10^5$  рад и 3) через сутки после  $\gamma$ - облучения**

Под действием  $\gamma$ -облучения при комнатной температуре в интервале доз  $10^5\text{-}10^8$  рад интенсивности всех полос ионов  $\text{Yb}^{2+}$  в диапазоне 200-400 нм увеличиваются (рис.1, кривые 2). Интенсивность групп линий ионов  $\text{Yb}^{3+}$  в области 860-1060 нм несколько уменьшается в обоих типах образцов, что свидетельствует о валентном  $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{2+}$  переходе на примесных ионах.

Интенсивность поглощения  $\text{Yb}^{2+}$  после  $\gamma$ -облучения сильно зависит от дозы облучения. Увеличение дозы облучения приводит к увеличению дополнительного поглощения. После облучения с течением времени интенсивности всех обнаруженных ПП  $\text{Yb}^{2+}$  в обоих типах облученных образцов уменьшаются. Если интенсивности полос 214, 228, 262, 274 и 364 нм уменьшается пропорционально друг относительно друга, то

интенсивность полосы 320 нм по отношению к другим полосам уменьшается гораздо быстрее.

При  $\gamma$ -облучении образцов очень сильно уменьшается интенсивность полосы 978 нм, несколько уменьшаются интенсивности полос с максимумами 945, 966 и 990 нм, увеличивают свои интенсивности полосы с максимумами 922 и 962 нм.

После прекращения облучения идёт процесс восстановления спектра, однако через сутки он не полностью восстанавливается до состояния спектра необлученных образцов. Через сутки после облучения число центров, обусловленных полосами поглощения с максимумами 262, 274, 320 и 364 нм в облученных образцах несколько больше, чем в исходном необлученном состоянии, однако концентрация центров, связанных с полосами поглощения 945, 965, 978 нм, меньше. Анализ и сопоставление спектров оптического поглощения исходных, облученных и выдержанных различное время после облучения образцов показывает, что в материалах при облучении и выдержке после облучения, кроме  $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{2+}$  переходов, происходят сложные  $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{3+}$  преобразования внутри самих  $\text{Yb}^{3+}$ - состояний.

Поглощение, наблюдаемое в образцах  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  в области 900-1000 нм, обусловлено следующим: полосы с максимумами в 922 и 962 нм – связаны с кубическими; 964 нм – тетрагональными; 910, 936, 966 и 976 нм – тригональными центрами; 945 и 956 нм – малыми кластерами; 978 нм – гексаметрическими кластерами. Наши эксперименты показали, что полосы 922, 965 и 978 нм являются сложными и в них перекрываются поглощения нескольких  $\text{Yb}^{3+}$  центров.

Интенсивности ПП в УФ и ИК областях зависят от концентрации примесей иттербия, введенных в кристаллы и керамики. С повышением концентрации активатора интенсивности полос в УФ- и ИК- областях спектра увеличиваются. Измерение СП из разных частей выращенных кристаллов показало, что интенсивность ПП в УФ области разная, что указывает на неравномерное распределение ионов  $\text{Yb}^{2+}$  по кристаллу. Если коэффициент поглощения в УФ области больше, то в ИК-области оно меньше или наоборот. Это явление наблюдается и в кристаллах, и в керамических образцах при одинаковых концентрациях активатора.

Облучение  $\gamma$ -лучами приводит к сильному изменению соотношения концентраций ионов иттербия в кристаллах и в керамиках. В исходных образцах, где концентрация  $\text{Yb}^{2+}$  больше, после  $\gamma$ -облучения происходит меньше переходов  $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{2+}$ , а в образцах, где концентрация  $\text{Yb}^{2+}$  меньше, переходов  $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{2+}$  больше. Валентные изменения ионов  $\text{Yb}^{3+}$  при облучении сильно проявляются в монокристаллах. После  $\gamma$ -облучения полоса в области 922 нм, обусловленная кубическими  $O_h$  центрами, в обоих типах образцов увеличивается, что свидетельствует о том, что при облучении за счет распада больших кластеров образуются новые кубические трёхвалентные состояния. В керамиках  $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{3+}$  переходов, т.е.

структурных изменений с ионами  $\text{Yb}^{3+}$  больше по сравнению с монокристаллами.

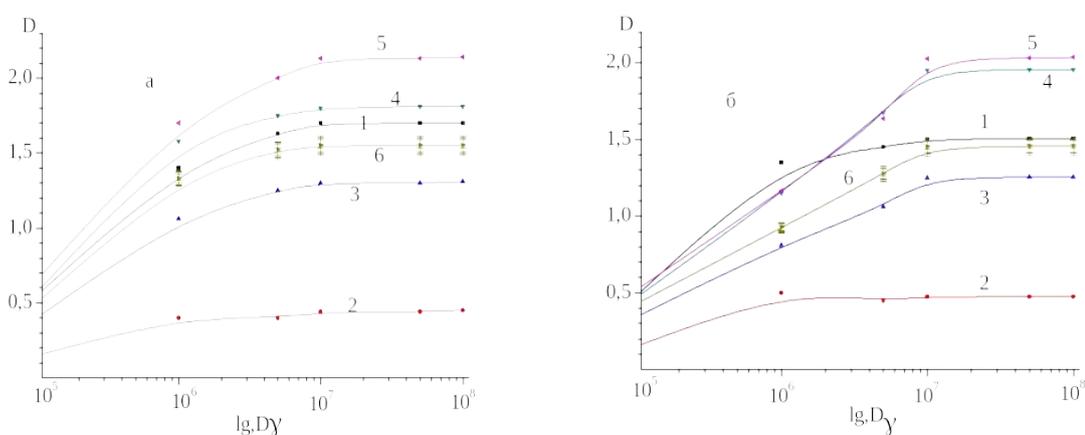
Выдержка облучённых при комнатной температуре образцов в темноте показала, что спектры, обусловленные подвижностью квазинестабильных междоузельных ионов фтора, несколько восстанавливаются. С течением времени интенсивности всех обнаруженных ПП  $\text{Yb}^{2+}$  в обоих типах облученных образцов уменьшаются. Через сутки спектры ОП образцов практически стабилизируются, при этом интенсивность полосы 320 нм уменьшается почти до конца. Интенсивность полосы поглощения (ПП) с максимумом при  $\lambda=978$  нм обусловлена кластером, после выдержки в течение одних суток возвращается до исходного состояния, но полностью не восстанавливается. Интенсивность ПП с максимумом при  $\lambda=976$  нм, обусловленной тригональными центрами, после часа выдержки, восстанавливается. Это можно объяснить следующим: во время облучения образцов  $\gamma$ -лучами междоузельные ионы фтора, получив энергию электронных возбуждений, удаляются от тетрагональных и тригональных центров, а также от малых и гексаметрических кластеров. При этом наряду с уменьшением этих центров (о чем свидетельствует уменьшение интенсивностей полос 940, 965 и 978 нм после  $\gamma$ -облучения), увеличивается число кубических центров в УФ- области ( $\text{Yb}^{2+}$ ) и происходит некоторое увеличение кубических  $O_h$  центров ( $\text{Yb}^{3+}$ ). Удалённые междоузельные ионы фтора могут быть в устойчивом или неустойчивом состоянии. Неустойчивые (т.е. нестабильные) иона фтора, со временем возвращаются в исходное состояние, в результате сначала появляются тригональные центры (976 нм), которые со временем образуют кластеры. Удалённые вследствие облучения из кластера некоторые ионы фтора не возвращаются в свое исходное состояние, в результате этого через сутки после облучения кластеры полностью не восстанавливаются, что приводит к увеличению тригональных  $C_{3v}$  и кубических  $O_h$  центров.

Были измерены СП образцов кристалла и керамики после облучения дозой  $10^8$  рад, выдержки облученных образцов в течение 6 месяцев в темноте с последующим отжигом при температуре  $\sim 600^\circ\text{C}$ . Сравнительные измерения СП показали, что интенсивность ПП образцов керамики не возвращается в исходное состояние. В кристаллах интенсивность ПП почти возвращается в исходное состояние. Можно сделать предположение о том, что под воздействием  $\gamma$ -облучения в монокристаллах и керамиках идут валентные преобразования ионов иттербия  $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{2+}$  и структурные изменения вокруг ионов  $\text{Yb}^{3+}$ .

В процессе выдержки и после отжига метастабильные ионы фтора, которые покинули свои места, возвращаются в исходное состояние. Это обусловлено тем, что в кристаллах ионы фтора возвращаются в исходное состояние из-за отсутствия границ раздела, которые препятствуют их движению, однако остается и некоторое число повреждений в кристаллической структуре, где удерживаются междоузельные ионы фтора.

В керамике такими участками могут быть границы раздела между зёрнами и “пустотами”. После отжига керамики при температуре  $\sim 600$  °С интенсивность ПП не возвращается в исходное состояние, что указывает на то, что в процессе отжига изменяется ориентация кристаллитов в структуре керамики, вследствие этого могут видоизменяться пустоты, где и удерживаются междоузельные ионы фтора.

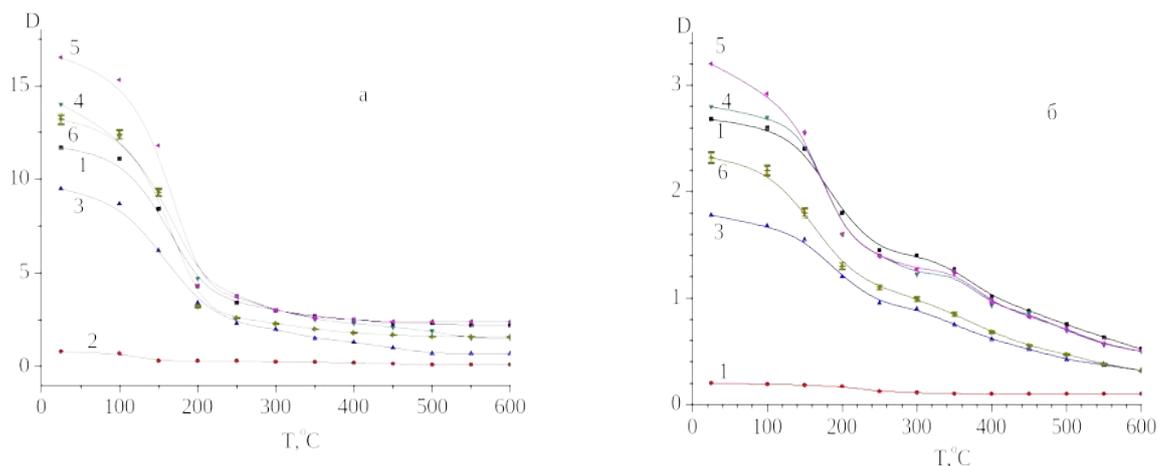
Так как спектры ОП являются нестабильными сразу после облучения и стабилизируются через сутки, для определения дозового поведения ПП составлены дозовые зависимости интенсивностей отдельных полос в интервале доз облучения  $10^5$ - $10^8$  рад через сутки после облучения (рис.2).



**Рис.2. Дозовая зависимость интенсивностей полос ОП кристалла (а) и в керамике (б)  $\text{CaF}_2:\text{YbF}_3$  через сутки после облучения для полосы: 1 – 360 нм; 2 – 320 нм; 3 – 271нм; 4 – 260нм; 5 – 227нм; и 6 – 214нм**

Из дозовых зависимостей образцов видно, что интенсивности всех полос  $\text{Yb}^{2+}$  увеличиваются в интервале доз  $10^5$ - $10^7$  рад и выходят на насыщение при дозе  $10^7$  рад. Если увеличение интенсивностей всех полос в кристаллических образцах происходит одноступенчато, то в керамических образцах увеличение интенсивности всех ПП, кроме полосы 320 нм, происходит в две стадии: первая стадия происходит до дозы  $10^6$  рад, а вторая стадия, как и в кристаллах, продолжается до дозы  $10^7$  рад.

На рис.3 приведены температурные зависимости изменения интенсивностей ПП при нагревании облученных образцов в интервале температуры 25-600°С. Температурные зависимости отжига ПП в кристаллических и керамических образцах сильно отличаются. Если в кристаллах все ПП  $\text{Yb}^{2+}$  отжигаются одноступенчато, то в керамике все полосы, кроме полосы 320 нм, отжигаются двухступенчато: первая ступень происходит в интервале 25-200°С, которая соответствует отжигу кристаллических образцов, а вторая ступень – в интервале 200-600°С.



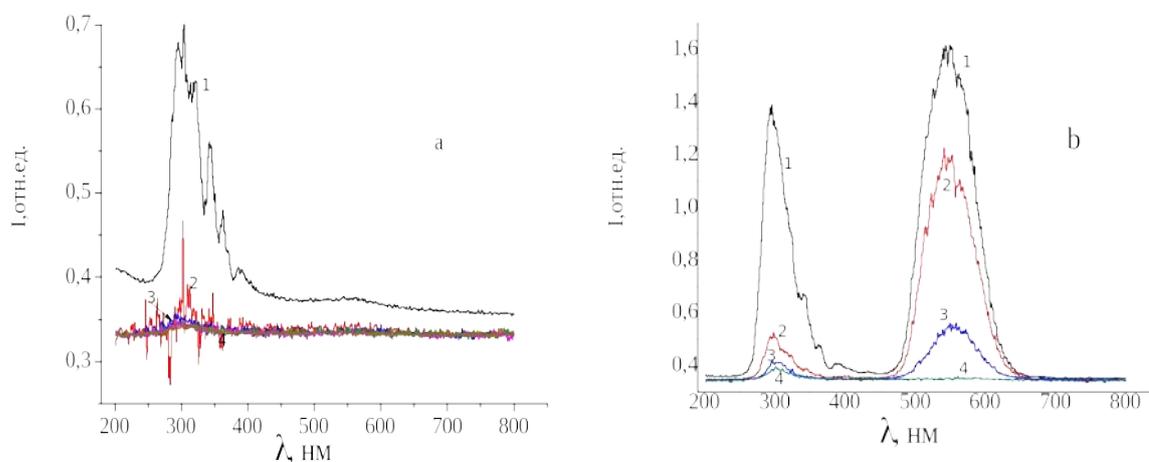
**Рис.3. Температурная зависимость интенсивностей полос ОП кристалла(а) и керамики (б)  $\text{CaF}_2:\text{YbF}_3$  через 6 месяцев после облучения для полос: 1 – 360 нм; 2 – 320 нм; 3 – 271нм; 4 – 260нм; 5 – 227нм и 6 – 214нм**

По нашему мнению, появление второй ступени объясняется наличием межзеренных переходных областей в керамических образцах. Если отжиг в монокристаллах обусловлен движением междуузельных ионов фтора  $\text{F}_i^-$  по пустым междуузельным положениям с одинаковой энергией активации, то в керамиках, междуузельные ионы фтора, кроме таких междуузельных пустот, движутся и по междуузельным положениям, расположенным в межзеренных переходных областях, энергия активации которых сильно отличается от энергии активации в нанокристаллических областях.

Ни в кристаллических, ни в керамических образцах ни до облучения, ни после облучения  $\gamma$ -лучами в спектральной области 200-800 нм возбудить фотолюминесценцию не удалось. Однако при непосредственном возбуждении  $\gamma$ -лучами при температуре жидкого азота (77К) обнаружена гамма-люминесценция (ГЛ). В монокристаллах наблюдается интенсивная ГЛ с максимумом около 300 нм и очень слабая полоса в спектральном интервале 470-650 нм с максимумом  $\sim 550$  нм (рис.4, а). Соотношение интенсивностей этих полос составляет  $\sim 15,5$ . В керамических же образцах интенсивности обеих полос сравнимы (рис.4, б), полоса 550 нм даже несколько интенсивнее, чем полоса 300 нм. При этом интенсивность полосы 300 нм в керамике в  $\sim 2$  раза больше, чем в монокристалле. Полоса при 550 нм соответствует хорошо изученной люминесценции ионов  $\text{Yb}^{2+}$ . Возможно, что полоса 300 нм обусловлена свечением автолокализованных экситонов. Об этом свидетельствует сильное уменьшение интенсивности этой полосы при увеличении температуры возбуждения до комнатной. Наблюдаемая структура в спектре люминесценции, по-видимому, обусловлена реабсорбцией части излучения АЛЭ ионами  $\text{Yb}^{2+}$  в области их поглощения.

С увеличением температуры до комнатной интенсивность полосы 550 нм также уменьшается. При этом скорость снижения полосы 300 нм больше,

чем полосы 550 нм. Уменьшение интенсивности полосы 550 нм обусловлено температурным тушением свечения ионов  $\text{Yb}^{2+}$ .



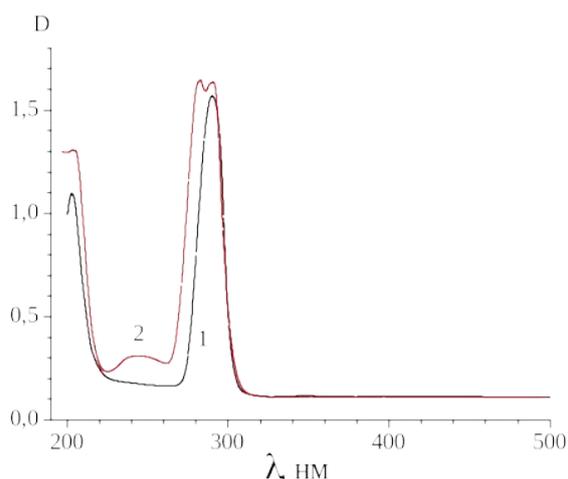
**Рис. 4. ГЛ кристалла (а) и керамик (б)  $\text{CaF}_2:\text{YbF}_3$  при температурах: 1– 77 К; 2 - 150 К; 3 - 250 К; 4 - 300 К**

В четвертой главе «Сравнительные исследования спектральных характеристик монокристаллов и нанокерамик на основе  $\text{BaF}_2:\text{CeF}_3$ » представлены результаты исследований спектральных характеристик в кристаллах и керамике  $\text{BaF}_2:\text{CeF}_3$ , под действием  $\gamma$ -облучения.

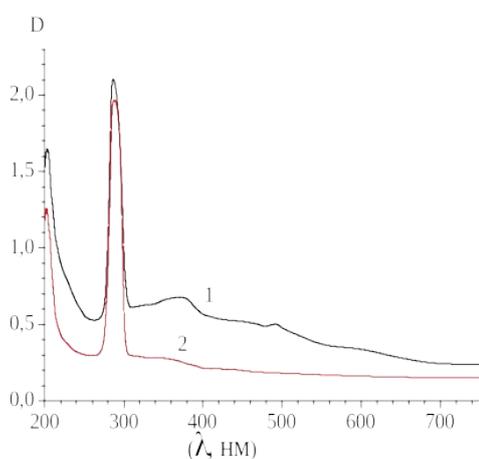
В СП необлученных кристаллов  $\text{BaF}_2:\text{CeF}_3$  имеются интенсивные ПП с максимумами при 205, 285 нм (рис.5, кривая 1), обусловленные электронными переходами ионов  $\text{Ce}^{3+}$ . В СП необлученных керамических образцов кроме этих полос обнаружены дополнительные полосы в области 282 нм и малоинтенсивная широкая полоса в области 250 нм (рис.5, кривая 2).

При комнатной температуре под действием  $\gamma$ -лучей дозой  $10^6$  рад кристаллы начинают окрашиваться, и в СП появляются наведенные ПП с максимумами 320, 345, 365, 435, 480, 610 и 750 нм (рис.6 кривые 1). Интенсивности этих полос увеличиваются с дозой облучения и выходят на насыщение при дозе  $10^7$  рад (рис.7). Однако эта окраска является нестабильной, и через 2 недели кристаллы обесцвечиваются (рис.6 кривые 2).

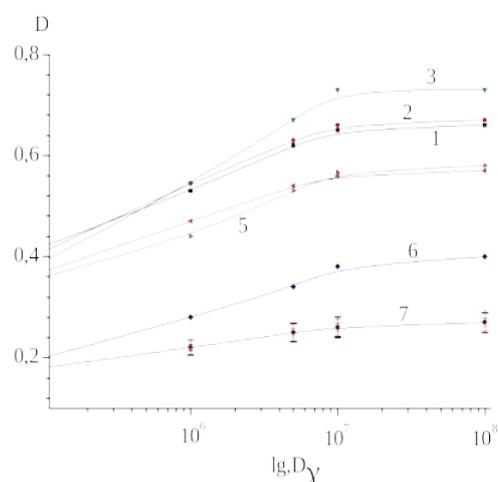
Керамические образцы по сравнению с кристаллами являются радиационностойкими. Они под действием  $\gamma$ -лучей до дозы  $10^8$  рад не окрашиваются, и только начиная с  $10^8$  рад в СП наблюдается некоторый подъем в УФ-области и незначительное общее увеличение оптической плотности в видимой области, явных ПП не наблюдается.



**Рис.5.** СП необлученного кристалла  $\text{BaF}_2:\text{Ce}^{3+}$  (1) и необлученной керамики (2)



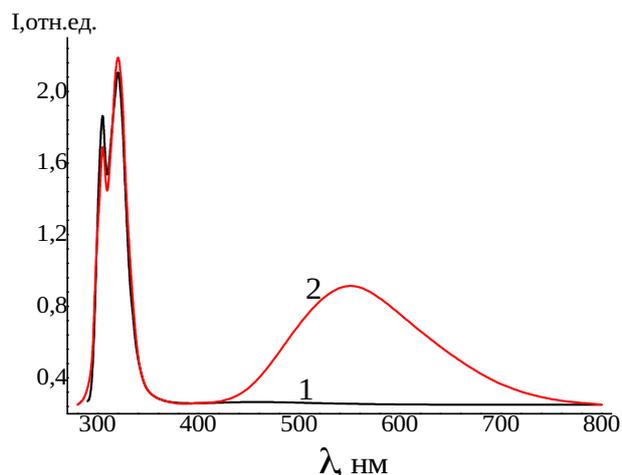
**Рис.6.** СП кристалла  $\text{BaF}_2:\text{Ce}^{3+}$ ,  $\gamma$ -облученного дозой  $5 \cdot 10^6$  рад сразу после облучения (1) и через 1 неделю (2)



**Рис.7.** Дозовые зависимости ПП кристалла  $\text{BaF}_2:\text{Ce}^{3+}$  на полосах: 320 (1), 345 (2), 365 (3), 435 (4), 480 (5), 610 (6), 750 нм (7) (б)

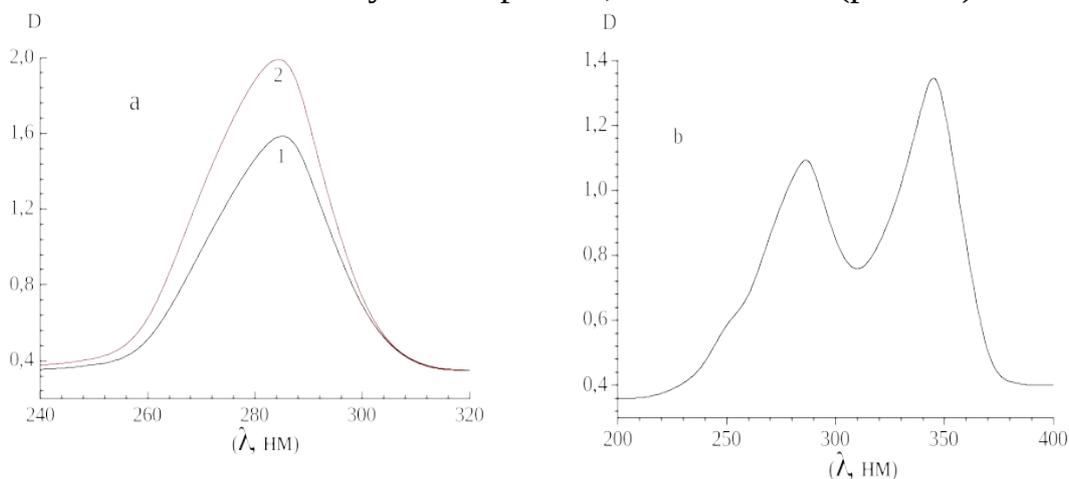
Не исключено, различие в радиационной стойкости кристаллов и керамики  $\text{BaF}_2:\text{Ce}^{3+}$  может быть связано с примесным химическим составом. А именно, следовые количества свинца, остающегося после улетучивания фторирующего агента в кристаллах, могут понижать его радиационную стойкость. Самофторирующийся прекурсор  $\text{BaF}_2 \cdot \text{HF}$ , используемый при синтезе керамики, имеет преимущество с точки зрения химической чистоты получаемого продукта.

При возбуждении в кристаллах на полосе 285 нм в спектре ФЛ наблюдаются полосы с максимумами при 305 и 320 нм (рис.8 кривая 1). В спектральной области 200–800 нм в кристалле другие полосы поглощения и фотолюминесценции не обнаружены. В спектре ФЛ при возбуждении на полосе 285 нм в керамиках обнаружены интенсивные полосы с максимумами при 305 и 320 нм и сравнительно малоинтенсивная широкая полоса с максимумом в области 550 нм (рис.8 кривая 2).



**Рис.8. Спектры ФЛ при возбуждении на полосе 285 нм необлученного кристалла  $\text{BaF}_2:\text{Ce}^{3+}$  (1) и необлученной керамики (2)**

Спектры возбуждения полос ФЛ 305 и 320 нм идентичны у необлученных кристаллических и нанокерамических образцов  $\text{BaF}_2:\text{Ce}^{3+}$ , в них имеются полосы с максимумом при 285 нм (рис.9 а). В спектре возбуждения полосы ФЛ 550 нм керамического образца  $\text{BaF}_2:\text{Ce}^{3+}$  наблюдаются полосы с максимумами при 250, 285 и 345 нм (рис.9 б).

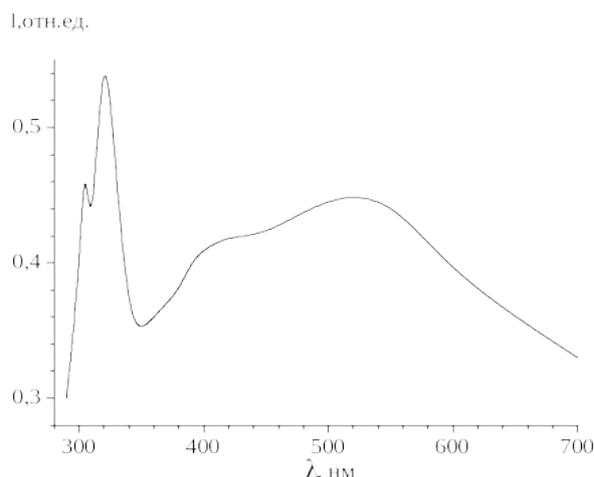


**Рис.9. Спектры возбуждения керамики  $\text{BaF}_2:\text{Ce}^{3+}$  на полосах люминесценции 305 (1) и 320 нм (2) (а); спектр возбуждения керамики  $\text{BaF}_2:\text{Ce}^{3+}$  на полосе люминесценции 550нм (б)**

Полоса 285 нм – это полоса возбуждения полос ФЛ 305 и 320 нм, поскольку она сильно перекрывается с полосами возбуждения 250 и 345 нм.

При возбуждении “на хвосте” полосы 250 нм (т.е. при  $\lambda_{\text{в}} = 240$  нм) необлученной керамики  $\text{BaF}_2:\text{Ce}^{3+}$  обнаружены полосы ФЛ с максимумами при 305, 320, 425 и 550 нм (рис.10). Вклады полос 305 и 320 нм в свечение сильно уменьшаются при возбуждении на полосах 250 и 340 нм по сравнению со случаем возбуждения на полосе 285 нм, поскольку она

обусловлена возбуждением полос ФЛ 305 и 320 нм на хвосте полосы возбуждения 285 нм.



**Рис.10. спектр ФЛ необлученной керамики  $\text{BaF}_2:\text{Ce}^{3+}$  при возбуждении на хвосте полосы 250 нм (240 нм)**

Усложнение СП и ФЛ образцов керамики по сравнению с монокристаллом можно связать с наличием ионов церия, находящихся в дефектных позициях, а именно локализованных на межзеренных границах или дислокациях.

Излучение ионов церия в области  $\lambda=280-360$  нм обусловлено с электронными переходами  $5d-4f$  в ионах  $\text{Ce}^{3+}$ . Интенсивность люминесценции при рентгеновском возбуждении зависит от концентрации церия и достигает максимального значения при концентрации  $\text{Ce}^{3+}$  0,1 моль %. Дальнейшее увеличение концентрации церия приводит к уменьшению интенсивности люминесценции. Концентрационное тушение рентгеновской люминесценции церия может быть связано либо с увеличением вероятности безизлучательных переходов в возбужденных ионах церия, либо с уменьшением вероятности возбуждения ионов церия в процессе электронно-дырочной рекомбинации.

В монокристаллах  $\text{BaF}_2-\text{CeF}_3$  при концентрациях  $\text{CeF}_3$  порядка 0,1 моль %, в основном, образуются одиночные тригональные цериевые центры. Ce1 центры нами идентифицируются как тригональные цериевые  $\text{C}_{3v}$  центры. С повышением концентрации примеси в структуре кристаллов щелочноземельных фторидов начинают проявляться парные и более сложные примесные центры, включая различные кластеры. Исходя из этого факта, Ce2 центры нами отнесены к парным цериевым центрам, люминесценция которых вызвана  $5d-4f$ -переходами в ионах  $\text{Ce}^{3+}$ , смещенными в сторону более низких энергий из-за взаимодействия с другими соседними ионами  $\text{Ce}^{3+}$ .

Таким образом, в нанокерамиках на основе  $\text{BaF}_2:\text{CeF}_3$ , в отличие от монокристаллов, где наблюдается дублетная полоса люминесценции Ce1 центров ( $\lambda_{\text{воз}}=285$  нм,  $\lambda_{\text{изл}}= 305$  и 320 нм), обнаружены дополнительные

полосы люминесценции Ce2 ( $\lambda_{\text{воз}}=310$  нм,  $\lambda_{\text{изл}}=370$  нм), Ce3 ( $\lambda_{\text{воз}}=250$  нм,  $\lambda_{\text{изл}}=425$  нм) и Ce4 ( $\lambda_{\text{воз}}=345$  нм,  $\lambda_{\text{изл}}=550$  нм) центров. Ce1 центры идентифицированы как изолированные тригональные  $C_{3v}$  центры, Ce2 центры – как парные цериевые центры, Ce3 и Ce4 центры – цериевые центры в комплексе различных дефектных состояний на границе в межзеренных границах и границах между нанослоями в нанокерамиках.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования, проведенного по теме диссертации доктора философии (PhD) «**Радиационно-стимулированные явления в монокристаллах и нанокерамиках на основе  $MeF_2-TRF_3$  (Me - Ca, Ba; TR - Yb, Ce)**», сделаны следующие выводы:

1. Спектральные характеристики монокристаллов и нанокерамик на основе  $CaF_2-YbF_3$  до облучения близки и в спектрах поглощения образцов обоих типов в области 200-800 нм содержатся полосы, соответствующие наличию примеси двухвалентных ионов иттербия  $Yb^{2+}$ , а в области 800-1100 нм – трехвалентных ионов иттербия  $Yb^{3+}$ , которые входят в структуру кубических, тригональных, тетрагональных примесных центров, а также малых и больших кластеров монокристаллов и нанокерамик. С повышением концентрации введенной примеси интенсивности полос поглощения и ионов  $Yb^{2+}$ , и ионов  $Yb^{3+}$ , увеличиваются в обоих типах образцов. Соотношение интенсивностей ПП в УФ- и ИК- областях отличаются в разных участках одного и того же образца при одинаковой концентрации введенного иттербия, что обусловлено неравномерным распределением ионов  $Yb^{2+}$  в образцах.

2. Под действием облучения гамма-лучами в пределах доз  $10^5-10^8$  рад в кристаллических и керамических образцах  $CaF_2-YbF_3$  концентрация двухвалентных ионов иттербия увеличивается и выходит на насыщение при дозе  $10^7$  рад, при этом интенсивности полос трехвалентных ионов иттербия несколько уменьшаются. В участках необлученного образца, где исходная относительная концентрация ионов  $Yb^{2+}$  больше, происходит меньшее число преобразований ионов  $Yb^{3+}$  в  $Yb^{2+}$ , а в тех участках, где относительная концентрация ионов  $Yb^{2+}$  меньше, осуществляется больше  $Yb^{3+} \rightarrow Yb^{2+}$  переходов.

3. При одинаковых концентрациях примеси иттербия под действием облучения валентные превращения  $Yb^{3+} \rightarrow Yb^{2+}$  происходят больше в монокристаллических образцах  $CaF_2-YbF_3$ , чем в нанокерамиках, что свидетельствует о большей радиационной стойкости керамических образцов по сравнению с монокристаллами.

4. Под воздействием  $\gamma$ -облучения и в кристаллических, и в керамических образцах  $CaF_2-YbF_3$ , кроме валентного преобразования ионов иттербия  $Yb^{3+} \rightarrow Yb^{2+}$ , происходят конфигурационные изменения вокруг ионов  $Yb^{3+}$ , обуславливая различные  $Yb^{3+} \rightarrow Yb^{3+}$  переходы в структуре образцов.

Конфигурационные изменения проявляются больше в нанокерамических образцах, чем в монокристаллах, что обусловлено наличием межзеренных и межплоскостных границ раздела в керамических образцах.

5. Наличие межзеренных и межплоскостных границ раздела в керамических образцах  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  приводит к появлению двухступенчатого накопления и отжига центров  $\text{Yb}^{2+}$  в нанокерамиках, где первая ступень, как и в монокристаллах, обусловлена движением междоузельных ионов фтора  $\text{F}_i$  в ненарушенной кристаллической фазе, а вторая ступень – движением  $\text{F}_i$  в межзеренных и межплоскостных границах раздела.

6. Установлено, что в монокристаллических образцах  $\text{BaF}_2\text{:CeF}_3$ , в основном, образуются тригональные цериевые  $\text{C}_{3V}$  центры (обозначаемые как Ce1-центры), которые обуславливают появление полос люминесценции с максимумами в 305 и 320 нм ( $\lambda_{\text{воз}}=285$  нм).

7. Наличие межзеренных и межслойных граничных переходных областей в нанокерамиках  $\text{BaF}_2\text{:CeF}_3$  приводит к образованию дополнительных примесных цериевых центров по отношению к монокристаллам. В результате этого в спектрах поглощения нанокерамик образуются новые полосы с максимумами 282 и 250 нм, а в спектрах фотолюминесценции, кроме  $\text{C}_{3V}$  центров, наблюдаемых в монокристаллических образцах, появляются дополнительные полосы с максимумами 370 нм ( $\lambda_{\text{воз}}=310$  нм), обусловленные Ce2 центрами, 425 нм ( $\lambda_{\text{воз}}=250$  нм) – Ce3 центрами, и 550 нм ( $\lambda_{\text{воз}}=345$  нм) - Ce4 центрами.

8. Идентифицирована природа обнаруженных новых цериевых центров в нанокерамических образцах  $\text{BaF}_2\text{:CeF}_3$ : Ce2 центры идентифицированы как парные цериевые центры, Ce3 и Ce4 центры – цериевые центры в комплексе с различными дефектными состояниями на межзеренных границах и границах между нанослоями в нанокерамиках.

9. Установлено, что керамические образцы на основе  $\text{BaF}_2\text{:CeF}_3$  являются радиационно-стойкими по сравнению с монокристаллами на этой основе. Это явление обусловлено тем, что в отличие от монокристаллов, где междоузельные ионы фтора могут свободно удаляться от своих вакансий и образовывать центры окраски в вакансиях фтора, в керамических образцах из-за наличия межзеренных и межплоскостных границ междоузельные ионы фтора не могут удаляться от своих нанозерн и возвращаясь на свои вакансии, ими рекомбинируются, при этом дефекты не создаются.

10. Выявлено различие в радиационной стойкости монокристаллов и нанокерамик на основе  $\text{BaF}_2\text{-CeF}_3$ , связанное отличием их примесного состава. Следовые количества свинца, остающегося после улетучивания фторирующего агента при синтезе монокристаллов  $\text{BaF}_2\text{:CeF}_3$ , приводят к понижению их радиационной стойкости. Самофторирующийся прекурсор  $\text{BaF}_2\text{:HF}$ , используемый при синтезе керамики, значительно очищая нанокерамику от свинца, приводит к радиационной стойкости нанокерамики на основе  $\text{BaF}_2\text{-CeF}_3$ .

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 ON AWARD  
OF SCIENTIFIC DEGREES AT THE INSTITUTE OF NUCLEAR  
PHYSICS**

---

**INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS**

**BOYBOBOEVA SOHIBA TURAMIRZAEVNA**

**RADIATION-STIMULATED PHENOMENA IN SINGLE CRYSTALS AND  
MeF<sub>2</sub> TRF<sub>3</sub> (Me - Ca, Ba; TR - Yb, Ce) BASED NANOCERAMICS**

**01.04.07 – Condensed matter physics**

**DISSERTATION ABSTRACT  
of the Doctor of Philosophy (PhD) on Physical and Mathematical Sciences**

**Tashkent – 2020**



**The theme of the dissertation of the doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences was registered by the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No.B2018.2.PhD/FM178.**

The doctoral (PhD) dissertation was carried out at the Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan.

The abstract of the dissertation was posted in three (Uzbek, Russian, English (resume)) languages on the website of the Scientific Council at [www.inp.uz](http://www.inp.uz) and on the website of “Ziyonet” informational and educational portal at [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz).

**Scientific supervisor:** **Nuritdinov Izzatillo**  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,  
Professor

**Official opponents:** **Dzhumanov Safarali**  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,  
Professor

**Umrzoqov Boltaxuja**  
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,  
Professor

**Leading organization:** **National University of Uzbekistan**

The defense of the dissertation will be held on “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2020, at \_\_\_ at the meeting of the Scientific Council No. DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 at the Institute of Nuclear Physics (Address: INP, Ulugbek settlement, 100124 Tashkent city. tel. (+99871) 289-31-41, fax (+99871) 289-36-65; e-mail: [info@inp.uz](mailto:info@inp.uz)).

The doctoral (PhD) dissertation can be looked through in the Information Resource Centre of the Institute of Nuclear Physics (registered under No.\_\_\_\_) Address: INP, Ulugbek settlement, 100124 Tashkent city. tel. (+99871) 289-31-19.

The abstract of dissertation was distributed on “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2020.  
(Registry record No. \_\_\_\_ dated “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2020.)

**M.Yu. Tashmetov**  
Chairman of the Scientific Council  
on Award of Scientific Degrees,  
D.Ph.-M.S., Professor

**S.B. Igamov**  
Scientific Secretary of the Scientific Council  
on Award of Scientific Degrees,  
D.Ph.-M.S., Senior Researcher

**S.V.Artemov**  
Vice-chairman of the Scientific Seminar of the Scientific  
Council on Award of Scientific Degrees,  
D.Ph.-M.S., Professor

## INTRODUCTION (annotation of PhD dissertation)

**Topicality and relevance of the theme of the dissertation.** Crystals with fluorite structure play an important role in quantum electronics, are characterized by isotropic properties, high mechanical strength and thermal conductivity, and good optical uniformity. Activated by various impurities, especially rare-earth elements, the crystals are used as laser media, scintillators, holographic materials, etc. Today, the crystals activated by  $\text{Yb}^{3+}$  and  $\text{Ce}^{3+}$  ions are the most promising for these purposes, because of the well-known good optical, mechanical, and thermal properties. These crystals can be used in various fields: in high-energy physics (as detectors at accelerators), in medicine (PET and SPECT tomography), in security systems, etc.

At present, it is difficult to name the area of human activity, to one extent or another not related to nanoceramics. Its use in energy, computer science, the production of basic industrial materials, medicine, mechanical engineering, radio engineering, vacuum and space technology and other sectors of the economy is noted. The scope of ceramic materials expands every year. A special interest in nanoceramics is due to the fact that, compared with other materials, for example, single crystals and glasses, it is more resistant to various external influences, and less laborious in the method of production and manufacture.

Recently, attempts have been made to improve the kinetic and other characteristics of the laser and scintillation properties of fluoride materials by creating optical fluoride ceramics. The transition to ceramics improves the thermophysical and mechanical characteristics (thermal conductivity, microhardness and fracture toughness) of materials. The attractiveness of ceramics is determined by its properties such as the ability to create large-sized ceramic samples, high thermal conductivity, and a high threshold of thermal destruction. In this regard, the use of ceramics as an active medium for high-power lasers and scintillators with the necessary resolution is very promising. In addition, the technology of manufacturing ceramics is more economical in comparison with the production of single crystals by traditional growth methods.

Despite the fact that radiation processes in single-crystal laser and optical materials based on  $\text{MeF}_2\text{-TRF}_3$  (Me – Ca, Ba; TR – Yb, Ce) have been studied in sufficient detail, the phenomena stimulated by the effect of radiation on optical ceramic materials, the influence of their specific features structures for radiation processes to date are not fully studied. Therefore, comparative studies of radiation phenomena in single crystals and nanoceramics based on  $\text{MeF}_2 - \text{TRF}_3$  (Me – Ca, Ba; TR – Yb, Ce) are extremely relevant.

The experimental studies carried out in this dissertation work correspond to the tasks provided for in the Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. UP-4947 "On the Strategy for the Further Development of the Republic of Uzbekistan for 2017-2021." dated February 7, 2017, Decrees of the President of the Republic of Uzbekistan No. PP-3682 "On measures to further improve the system of practical implementation of innovative ideas, technologies and projects"

dated April 27, 2018, No. PP-3698 “On additional measures to improve the mechanisms for introducing innovations in industries and spheres of the economy” of May 7, 2018, as well as in other regulatory documents adopted in this direction.

**Correspondence of the research to the priority directions of the development of science and technology of the republic.** The dissertation was carried out in accordance with the priority direction of the development of science and technology in Republic of Uzbekistan: II. “Energy, energy and resource saving”.

**The degree of knowledge of the problem** To date, by the scientists of many countries of the world, including American (E. Hatch, WF Parsons, RJ Wageageley, RN Grass, WJ Stark), Japanese (H Ishigava., T.Kato, G.Okada, K Fukuda, T.Yanagida, M.Ito, T. Fukuda), French (Ch.Goutaudier, Y.Guyot, K.Lebbou, G. Baulon), Russian (F.K. Volynets, V.V. Osiko, P.A. Popov, E.A. Tkachenko, M.Sh. Akchurin, P.P. Fedorov, V.A. Orlovsky, V.A. Demidenko, S.V. Kuznetsov, P.A. Popov, E.N. Ryzhikov, P. A. Rodny), Chinese (J. Luo, L. Ma, W. Chen), Romanian (I. Nicara, L. Lighezan, M. Inculescu, I. Inculescu, M. Stef, A. Pruna) have completed a large work on the development of methods for the synthesis of single crystals and optical ceramics based on fluoride compounds and the study of their various physical chemical properties. At present, the technology of the laser fluoride nanoceramics is being successfully developed both in such most developed countries as the USA, Japan, and Russia.

In the course of the research, the possibility of obtaining transparent fluoride optical nanoceramics with low optical losses at the level of  $10^{-2}$ - $10^{-3}$   $\text{cm}^{-1}$  at the wavelength of 1  $\mu\text{m}$ , suitable for photonics elements, was shown. It has been shown that fluoride nanoceramics have the improved mechanical and luminescent properties compared to single crystals and established the fact of complete similarity of the thermal physical characteristics of fluoride nanoceramics and single crystals.

However, the radiation characteristics of fluoride nanoceramics, stimulated by exposure to radiation, are not fully understood and detailed studies in this direction are required. This kind of research is very promising from the point of view of expanding the use of nanoceramic materials in laser, scintillation, and other fields of science and technology.

**The connection of the topic of dissertation research with plans for research work of the research institution where the dissertation was completed.** The dissertation was carried out as part of the scientific projects of the Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan F2-FA-F118 "Patterns of radiation-stimulated phenomena in oxide and fluoride solid-state materials used as ionizing radiation detectors" (2012-2016) and OT-F2 -23 "Features of the generation and recombination processes in wide-gap oxide and fluoride solid-state materials" (2017-2020).

**The aim of the research** is a comparative study of radiation-induced phenomena in single crystals and nanoceramics based on  $\text{MeF}_2$ - $\text{TRF}_3$  (Me – Ca,

Ba; TR – Yb, Ce) and to identify common and specific features of the occurrence of radiation processes in these materials.

**The tasks of the research:**

study of the spectral-luminescent and radiation-optical characteristics of studied materials;

establishing the laws of radiation defect formation in single crystals and nanoceramics;

identification of the general and specific features of radiation-stimulated processes in single crystals and nanoceramics;

determination of the nature of valence and configurational changes at impurity centers in the studied single crystals and nanoceramics;

determination of the nature of the influence of the cross-border features of nanoceramics on radiation characteristics.

**The objects of the research** are impurity centers and adjacent intrinsic defects in single crystals and nanoceramics based on  $\text{MeF}_2\text{-TRF}_3$  (Me – Ca, Ba; TR – Yb, Ce).

**The subject of the research** is similarity and difference in the laws of radiation-stimulated phenomena in single crystals and nanoceramics based on  $\text{MeF}_2\text{-TRF}_3$  (Me – Ca, Ba; TR – Yb, Ce).

**Research methods:** Spectral luminescent (photoluminescence, gamma-luminescence) and absorption methods. To establish the laws of radiation processes, the methods were used to study the dose dependencies of the accumulation of radiation defects upon exposure to a  $^{60}\text{Co}$  source of gamma rays in the range of doses  $10^5\text{-}10^8$  rad, as well as annealing radiation defects in the temperature range 300-900 K in muffle furnace with a step of 50 ° C in irradiated room temperature samples.

**The scientific novelty of the research** is as follows:

the specific features of the influence of ytterbium impurities on the radiation-optical characteristics of crystals and nanoceramics synthesized on the basis of  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  are established, due to the presence of intergranular and interplanar interfaces in ceramic samples;

it was found that in single crystals and nanoceramics based on  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$ , along with valence transformations  $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{2+}$ , configurational  $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{3+}$  transitions between different states of  $\text{Yb}^{3+}$  ions in the structure of samples are carried out, with the participation of interstitial  $\text{F}_i$  ions;

revealed the radiation resistance of optical nanoceramics based on  $\text{MF}_2\text{:TRF}_3$  at a dose of  $10^8$  rad in comparison with single crystals on this basis;

it was shown that the presence of intergranular and interplanar interfaces in nanoceramic  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  samples leads to the appearance of two-stage accumulation and annealing of  $\text{Yb}^{2+}$  centers in nanoceramics, where the first step, as in single crystals, is caused by the movement of interstitial fluorine ions  $\text{F}_i$  in the undisturbed crystalline phase, and the fluorine movement of  $\text{F}_i$  at intergranular and interplanar interfaces;

have been discovered new cerium luminescent centers in nanoceramic  $\text{BaF}_2\text{-CeF}_3$  samples, which are identified as paired cerium centers (Ce2 centers) and as cerium ions in a complex with cluster defect states (Ce3 and Ce4 centers) at grain boundaries and boundaries between nanolayers in nanoceramics.

**The practical results of the research are as follows:**

It was shown that trace amounts of lead remaining after volatilization of the fluorinating agent during the synthesis of  $\text{BaF}_2\text{:CeF}_3$  single crystals leads to a decrease in its radiation resistance. The self-fluorinating precursor  $\text{BaF}_2\text{:HF}$ , used in the synthesis of ceramics, significantly cleaning lead from nanoceramics, leads to the radiation resistance of nanoceramics based on  $\text{BaF}_2\text{:CeF}_3$ .

**The reliability of the research results.** It is confirmed by the use of well-tested modern absorption, luminescent, thermal and photoactivation research methods, a large volume of experimental results with sufficient statistics and consistent results with fundamental laws and basic concepts of condensed matter physics.

**Scientific and practical significance of the research results.**

The scientific significance of the research results lies in establishing the distinctive features of the spectral and radiation-stimulated characteristics of single crystals and nanoceramics based on  $\text{CaF}_2\text{:YbF}_3$  and  $\text{BaF}_2\text{:CeF}_3$ , due to the presence of grain and interplanar interfaces in the structure of ceramic samples.

The practical significance of the results is in improving the radiation resistance of materials based on fluoride nanoceramics up to  $10^8$  rad, which may also contribute to the development of laser and scintillation techniques.

**Implementation of research results.**

Based on the results of the study of radiation-stimulated phenomena in single crystals and nanoceramics based on  $\text{MeF}_2\text{-TRF}_3$  (Me-Ca, Ba; TR-Yb, Ce):

the established laws governing the effect of ytterbium impurities on the radiation-optical characteristics of crystals and nanoceramics synthesized on the base of  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$  were used by foreign scientists in studies of the properties of doped crystals and nanoceramics activated by ytterbium (Inorg. Mat., Vol. 53 No. 3, pp. 313–317, 2017; J. Phys. Chem. C, 2017, Vol. 121, No. 51, pp. 28435-28442; Scient. Bull. Of University of California, Santa Cruz, ProQuest Dissertations Publishing, 2019, 13811489). The application of these results made it possible to clarify the nature of some ytterbium centers in crystals and nanoceramics based on  $\text{CaF}_2\text{-YbF}_3$ ;

the determination of the radiation resistance of  $\text{BaF}_2\text{:CeF}_3$ -based optical nanoceramics was used by foreign researchers (Radiation Measurements, Vol. 106, pp. 140-145, 2017; Doklady Physics, Vol.61, pp. 50–54, 2016; J. Am. Ceram Soc., Vol. 102, pp. 178–184, 2019) for the search for radiation-resistant nanoceramic scintillators synthesized on the base of alkaline-earth fluorides. The use of scientific results has improved the radiation resistance of some of the developed new scintillators;

the established characteristics of cerium luminescent centers in  $\text{BaF}_2\text{:CeF}_3$ -based optical nanoceramics were used by foreign researchers (J. All. Comp., Vol.

817, No. 15, 2020, 153075; Rad. Phys. and Chem., Vol. 153, pp. 70-78, 2018; J. Cryst. Growth, Vol. 525, 125188, 2019) to improve the scintillation characteristics of new scintillation materials being developed. Using the obtained results allowed to improve the light output of the known scintillation material based on  $\text{BaF}_2:\text{CeF}_3$  and to develop a new composition for scintillators.

**Testing the results of the study.** The results of the study were reported and discussed at 6 International and 3 Republican scientific and practical conferences.

**The publication of the results of the study.** On the topic of the dissertation, 13 scientific papers were published, 4 scientific articles of which 2 in international scientific journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for the publication of the main scientific results of doctoral dissertations.

**The structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of introduction, five chapters, conclusion, list of used literature. The volume of the dissertation is 118 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (Part I; I часть)**

1. Fedorov P.P., Ashurov M.Kh., Boboyarova Sh.G., Boibobeva S.T., Nuritdinov I., Garibin E.A., Kuznetsov S.V., Smirnov A.N. Absorption and Luminescence Spectra of CeF<sub>3</sub>-Doped BaF<sub>2</sub> Single Crystals and Nanoceramics // Inorganic Material. - Pleiades Publishing, 2016. – Vol. 52, N 2. - pp. 213-217 (№4.Journal Citation Reports; IF=0,771).

2. Ashurov M.Kh., Boibobeva S.T., Nuritdinov I., Garibin E.A., Demidenko A.A., Kuznetsov S.V., Fedorov P.P. Irradiation Behavior of Ytterbium-Doped Calcium Fluoride Crystals and Ceramics // Inorganic Material. - Pleiades Publishing, 2016. – Vol. 52, N 8. - pp. 842-850 (№4.Journal Citation Reports; IF=0,771).

3. Ашуров М.Х., Нуриддинов И., Бойбобоева С.Т. Радиационно-стимулированные Yb<sup>3+</sup>-Yb<sup>2+</sup> и Yb<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> превращения в монокристаллах и нанокерамиках CaF<sub>2</sub>-YbF<sub>3</sub> // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. - Ташкент, 2019. - № 1. - С.11-14. (01.00.00. № 7)

4. Ашуров М.Х., Нуриддинов И., Бойбобоева С.Т. Многотипность цериевых центров в оптических нанокерамиках на основе BaF<sub>2</sub>-CeF<sub>3</sub> // Доклады Академии наук Республики Узбекистан. - Ташкент, 2019. - №5. - С.17-23 (01.00.00. № 7)

**II бўлим (II; II часть)**

5. Нуриддинов И., Бобоярова Ш.Г., Ахмедова И.А., Бойбобоева С.Т. Радиационные центры окраски в кристалле BaF<sub>2</sub>, обусловленные примесью Yb // «Назарий ва ядро физикасининг долзарб муаммолари»: Илмий конференциянинг тезислар тўплами, 23-24 Октябрь 2015. – Тошкент, 2015.- С.38-39

6. Ашуров М.Х., Нуриддинов И., Бойбобоева С.Т. Исследование радиационно-индуцированных Yb<sup>3+</sup>-Yb<sup>2+</sup> превращений в монокристаллах и нанокерамиках на их основе CaF<sub>2</sub>-YbF // «Микроэлектроника, нанозарралар физикаси ва технологиялари: Республика илмий-амалий анжумани материаллари, 2015 йил 4-5 декабрь. - Андижон, 2015. - С.9

7. Ашуров М.Х., Нуриддинов И., Бойбобоева С.Т. Радиационно-стимулированные Yb<sup>3+</sup>-Yb<sup>2+</sup> и Yb<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> превращения в монокристаллах и нанокерамиках CaF<sub>2</sub>-YbF<sub>3</sub> // «Фундаментальные и прикладные вопросы физики»: Труды международной конференции, 13-14 июня 2017. - Ташкент, 2017. - С. 29-32

8. Ашуров М.Х., Нуриддинов И., Бойбобоева С.Т. Радиационно-оптические свойства монокристаллов и нанокерамик на основе CaF<sub>2</sub>-YbF<sub>3</sub> //

«Ядерная и радиационная физика»: Сборник тезисов 11-ой Межд. конф. 12-15 сентября 2017. – Алматы, 2017. - С. 260.

9. Ашуров М.Х., Бойбобоева С.Т. Исследование радиационных характеристик кристаллов и нанокерамик на основе  $BaF_2-CeF_3$  // Электроника ИРЕС-7: Седьмая международная конференция по физической электронике. - Ташкент, 2018. - С.133

10. Ашуров М.Х., Нуриддинов И., Бойбобоева С.Т., Саидахмедов К.Х. Радиационностимулированные изменения иттербиевых центров в монокристаллах и нанокерамиках на их основе  $CaF_2-YbF_3$  // «Ядро физикаси ва ядровий технологиялар»: Ўзбекистон ёш физиклари V Республика анжумани. – Тошкент, 2018. - 131-136 б.

11. Ашуров М.Х., Нуриддинов И., Саидахмедов К.Х., Бойбобоева С.Т. Исследование радиационно-стимулированного изменения оптических свойств в монокристаллах и нанокерамиках на основе  $CaF_2-YbF_3$  // «Радиационная физика твердого тела»: Труды XXIX межд. конф., Севастополь, 8-13 июля 2019. – Москва, 2019. - С.170-179

12. Ашуров М.Х., Нуриддинов И., Саидахмедов К.Х., Бойбобоева С.Т. Радиационное изменение иттербиевых центров в монокристаллах и нанокерамиках на основе  $CaF_2-YbF_3$  // «Ядерная наука и технологии»: II Межд. научный форум 24-27 июня 2019, Сборник тезисов.-Алматы, 2019.- С.118.

13. Ashurov M.Kh, Nuritdinov I., Boyboboeva S.T., Saidakhmedov K.Kh. Investigation of the radiation characteristics of crystals and nanoceramics on the basis of  $BaF_2-CeF_3$  // «Modern problems of nuclear physics and nuclear technologies»:Book of abstracts of the ninth international conference September 24-27, 2019.-Tashkent, 2019.- pp.200-201.