

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ, АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ,
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.FM/Т.33.01 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ

УТЕНИЯЗОВА АЙСАРА БЕГМУРАТОВНА

**MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I) КРИСТАЛЛАРИДА
РАДИАЦИОН ХОДИСАЛАР**

01.04.07 – конденсирланган ҳолат физикаси

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

Тошкент – 2018

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

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

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

Утениязова Айсара Бегмуратовна MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I) кристалларида радиацион ходисалар.....	3
Утениязова Айсара Бегмуратовна Радиационные явления в кристаллах MeFX (Me-Sr, Ba; X- Cl, I).....	23
Uteniyazova Aysara Begmuratovna Radiation phenomena in MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I) crystals.....	45
Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works.....	52

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ, АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ,
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ

УТЕНИЯЗОВА АЙСАРА БЕГМУРАТОВНА

**MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I) КРИСТАЛЛАРИДА
РАДИАЦИОН ҲОДИСАЛАР**

01.04.07 – конденсирланган ҳолат физикаси

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

Тошкент – 2018

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (Doctor of Philosophy) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.3.PhD/FM119 рақами билан рўйхатга олинган.

Диссертацияси Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Ядро физикаси институтида бажарилган.

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

Илмий раҳбар: **Нуритдинов Иззатилло,**
физика-математика фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: **Ибрагимова Эльвира Меметовна,**
физика-математика фанлари доктори

Рамазанов Асрор Хамраевич
физика-математика фанлари номзоди, доцент

Етақчи ташкилот: **Ислом Каримов номидаги Тошкент Давлат техника университети**

Диссертация ҳимояси Ядро физикаси институти, Астрономия институти, Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил _____ соат _____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100174, Тошкент шаҳри, Улуғбек кўрғони, Ядро физикаси институти. Тел. (+99871) 289-31-18; факс (+99871) 289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

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

Диссертация автореферати 2018 йил « _____ » _____ куни тарқатилди.
(2018 йил “ _____ ” _____ даги _____ рақамли реестр баённомаси)

М. Ю. Ташметов
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш раиси ф.-м.ф.д., профессор

Р. Ярмухамедов
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш илмий котиби ф.-м.ф.д., профессор

С.Н. Нуритдинов
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. Бугунги кунда жаҳонда ядровий ва ионлаштирувчи нурларни қайд этувчи ва ўлчовчи турли детекторлар тайёрлашнинг фундаментал асосларини ишлаб чиқиш масалаларини ҳал қилишга катта аҳамият берилмоқда. Ионлаштирувчи нурларни детектрлаш услублари орасида қайд қилишнинг юқори самарадорлиги, юқори даражада юклаш имконияти ва, мос равишда, вақт ва энергия бўйича юқори ажратиш қобилияти, шунингдек, фойдаланиш учун қулайлиги ва соддалиги каби бир қатор афзалликлари туфайли ионлаштирувчи нурларни қайд қилиш ва уларнинг спектрларини ўлчашнинг сцинтилляциявий услуби кенг ривож топган. Бу йўналишда ишқорий ер элементлари фторидлари асосидаги кристаллар ёрдамида детекторлар яратиш ва улардан фойдаланиш бўйича турли кириндилар билан активлаштирилган MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I) тоифадаги кристалларда радиацион ҳодисаларни ўрганиш ўта муҳимдир.

Бугунги кунда жаҳонда детекторлар сифатида қўлланиладиган активлаштирилган MeFX кристаллар ионлаштирувчи нурлар, масалан, рентген нурлари, билан нурлантирилганда ютилган энергиянинг бир қисмини метастабил марказлар сифатида сақлайдилар. Бу марказларда ҳосил бўлган тасвир қоронғиликда ва хона ҳароратида узок вақт турғун қолади, бу эса тасвирни эслаб қолувчи рентген экранлари (imaging plate) яратишда муваффақият билан қўлланилади. Тиббиётда диагностика мақсадида эслаб қолувчи рентген экранларидан фойдаланиш беморларнинг нур юкламасини анчагина пасайтиришга олиб келади. Ушбу усулда олинган ахборотни (тасвирни) сақлаш ва уларни ўқиш борасида жиддий ютуқларга эришилган бўлсада, бу жараёнларнинг механизмлари ҳалигача тўлиқ ўрганилган эмас, бу эса ушбу тоифадаги люминофорларнинг самарадолигини оширишга тўсқинлик қилади. Масаланинг ечими ушбу тоифадаги кристалларда кечадиган радиация билан уйғотиладиган жараёнларнинг қонуниятларини мақсадга мувофиқ ўрганиш билан бевосита боғлиқ бўлиб, бу муаммо конденсирланган муҳит физикасининг долзарб масалаларидан биридир.

Мамлакатимизда илм-фан ривожига, жумладан ядровий ва ионлаштирувчи нурларни қайд этувчи ва ўлчовчи турли детекторлар тайёрлаш муаммоларини ҳал қилишга ҳамда фундаментал тадқиқотларни юқори халқаро даражада ташкил қилишга катта эътибор берилмоқда. Мамлакатимиз илм-фан ривожига ҳамда фундаментал тадқиқот натижаларини ҳаётга татбиқ қилиш учун фундаментал тадқиқотларни муҳим йўналишлари Ўзбекистонни янада ривожлантириш бўйича 2017-2021 йиллардаги Ҳаракатлар стратегиясига¹ киритилган.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПҚ-4947-сонли “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича

¹ 2017 йил 07 февральдаги ПФ-4947-сонли “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” Ўзбекистон Республикаси Президентининг Фармони

Харакатлар стратегияси тўғрисида”ги, 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сонли “Фанлар академияси фаолиятини янада такомиллаштириш, илмий ишларни ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштириш бўйича чора тадбирлар тўғрисида” ги Қарорлари, 2017 йил 16 февралдаги ПФ-4958-сон “Олий ўқув юртидан кейинги таълим тизимини янада такомиллаштириш тўғрисида”ги Фармони, ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларга мос келади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялари ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлиги» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Жаҳоннинг кўплаб илмий-тадқиқот марказларидаги таниқли олимлари, жумладан: америкалик (R.C. Baetzold, D.J. Singh, A.L. Ruoff), япониялик (K. Takahashi, K. Kohida, K. Inabe, S. Nakamura, A. Ohnishi), германиялик (E. Niclas, F. Fischer, S. Assmann, S. Schweizer), франциялик (E. Decremps, M. Gauthier), швейцариялик (B.W. Liebich, D. Nicollin), ҳиндистонлик (K. Somaiah, V. Hari Babu, G. Gundiah, S.V. Upadeo, G. Kalapana), хитойлик (M.Z. Su, X.P. Sun, W. Chen), россиялик (А.А. Шалаев, Е.А. Раджабов, Р. Шендрик), исроиллик (N. Kristianpoller, A. Shmilevich), ўзбекистонлик (И. Нуритдинов, Б.Т. Аташов) ва бошқа олимлар томонидан MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I) тоифасидаги кристалларнинг синтези, кристалл ва электрон структуралари, материалларнинг спектроскопик хусусиятлари ва уларда бўладиган радиациявий жараёнлар ўрганилган.

Бу тадқиқотлар натижасида кристаллар структурасида икки турдаги анион тугунлари мавжудлиги, шу тугунли кристаллар нурлантирилганда икки турдаги анион вакансиялар ($\alpha(F^-)$ - ва $\alpha(X^-)$ - марказлар), икки турдаги F-марказлар ($F(F^-)$ - ва $F(X^-)$ - марказлар) ҳосил бўлиши аниқланган. MeFX тоифасидаги кристаллар орасида радиациявий нуқсонларнинг хусусиятлари BaFCl кристалларида нисбатан тўлароқ ўрганилган. Рентген тасвирини сақлаш ҳодисаси радиациявий нуқсонларнинг ҳосил бўлиши ва бир-бирларига айланиши билан бевосита боғлиқлиги аниқланган. Аммо нуқсонларнинг табиати, нуқсонлар ҳосил бўлиши ва рентген тасвирини сақлаш ҳодисаларининг механизмлари шу тоифадаги бошқа кристаллар, айниқса ушбу мақсадлар учун истиқболли бўлган SrFCl ва BaFI учун етарлича тўлиқ ўрганилмаган.

MeFX тоифасидаги кристалларнинг амалда қўлланилиши Eu^{2+} , Sm^{2+} ва Ce^{3+} ионлари билан активлаштирилган материалларнинг рекомбинациявий люминесценцияси хусусиятларига асосланган. Юқоридаги активаторларнинг ультрабинафша ва кўриш соҳасидаги нурлар билан уйғотишда содир бўладиган электрон ўтишлари бу тоифа кристаллари учун бир қадар батафсил ўрганилган бўлсада, рекомбинациявий люминесценцияни, айниқса фотостимуллашган люминесценцияни (ФСЛ) уйғотиш механизмлари етарлича тўлиқ ўрганилмаган, олинган мавжуд маълумотлар эса ҳаммиша ҳам бир-бирига мос келмайди.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасаси илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация иши Ядро физикаси институтида қуйидаги илмий-тадқиқот лойиҳалари доирасида бажарилган: Ф2-ФА-Ф118 «Ионлаштирувчи нурлар детекторлари сифатида қўлланиладиган оксид ва фторид кристалларидаги радиация билан уйғотилган ҳодисаларнинг қонуниятлари» (2012–2016); ОТ–Ф2-23 «Кенг зонали оксид ва фторид каттик жисм материалларда генерациявий ва рекомбинациявий жараёнларнинг ўзига хос хусусиятлари» (2017–2020).

Тадқиқотнинг мақсади легирланмаган ҳамда Eu, Ce, W ва Tl киридилари билан легирланган MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I) тоифадаги кристалларни ионлаштирувчи нурлар билан нурлантириш жараёнида кечадиган радиация билан уйғотилган ҳодисаларнинг қонуниятларини аниқлашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

радиация билан вужудга келадиган марказлар пайдо бўлишининг дозага боғлиқлигини ўрганиш;

радиациявий марказларнинг ҳарорат ва ёруғлик таъсирига турғунлик даражасини аниқлаш;

радиациявий нуқсонларнинг ҳарорат ва ёруғлик таъсирида бир-бирига айланиш ва йўқолиш қонуниятларини топиш;

легиранмаган ва легиранган кристалларда фото-, термо-, рентген-, гамма- ва катод люминесценциялари механизмларини аниқлаш;

радиациявий нуқсонларни идентификация қилиш;

киридиларнинг кристаллардаги радиациявий жараёнларга таъсир кўрсатиш механизмларини аниқлаш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида легирланмаган ва легиранган MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I) кристаллар олинган.

Тадқиқотнинг предмети легирланмаган ва легиранган MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I) кристалларида радиация билан уйғотилган ҳодисаларни ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Оптик ютилиш ва кристалларнинг фотолюминесценцияси спектрлари «Карл-Цейсс» фирмасининг Specord UV-VIS (Германия), «Perkin Elmer» фирмасининг LAMBDA 35 (АҚШ), «Хитачи» фирмасининг MPF-2A (Япония) спектрофлюориметрларида ўрганилди; намуналарнинг рентгено- ва гаммалюминесценция спектрлари МСД-2 монохроматори асосида йиғилган қурилмада олинди; РУП-120 қурилмаси (120кВ, 5мА) рентген нурлари манбаси бўлиб хизмат қилди, гаммалюминесценция олиш учун ⁶⁰Со манбаининг гамма-нурлари ишлатилди; катодолюминесценция спектрларини ўлчаш телевизорнинг электрон-нурли трубкаси асосида ишланган қурилмада амалга оширилди; нурланган намуналарнинг сўнги нурланишининг (послесвечение) емирилиш кинетикаси айланувчи дисклар методи билан аниқланди.

Тадқиқотнинг илмий янгиллиги қуйидагилардан иборат:

BaF₂ кристаллари учун биринчи марта максимуми 300–340 нмда бўлган рекомбинациявий люминесценция (V_k+e⁻) кўринишидаги автолокаллашган

экситонлар (АЛЭ) билан боғлиқ эканлиги исботланган, АЛЭларнинг ҳаракатчанлик активация энергияси аниқланган;

SrFCl ва BaFCl кристалларини ионлаштирувчи гамма нурлар билан нурлантирганда радиацион нуқсонлар ҳосил бўлиши, уларнинг доза ортиб бориши билан икки босқичда амалга оширилиши аниқланган;

BaFCl ва SrFCl кристалларида γ - нурлари билан нурлантириш жараёнида ҳосил бўладиган $\alpha(F^-)$ -, $\alpha(X^-)$ -, $F(F^-)$ -, $F(X^-)$ -, F_i^0 -, X_i^0 - типдаги нуқсон марказлари ютилиш полосаларининг табиати идентификация қилинган;

MeFX тоифасидаги кристаллар учун кристалл ячейкалари параметрларининг катталашуви билан уларнинг радиация таъсирига турғунлиги камайиб бориши аниқланган;

спектроскопик тадқиқотлар ёрдамида активаторларнинг MeFX кристаллари структурасига фақат биргина кристаллографик ҳолатда кириши, бунда Eu ионлари икки валентли ҳолатда, Ce киридилари эса уч валентли ҳолатда кириши кўрсатилган;

BaFCl кристалл тизимига Tl кириндиси киритилганда оптик ютилиш спектрида Tl^{2+} ионларининг ютиши билан боғлиқ бўлган 210, 240 и 290 нм максимумларида жойлашган полосалар вужудга келиши аниқланган;

легирилган MeFX тоифасидаги кристаллар учун электромагнит нурлар (гамма ва рентген нурлари) ҳамда зарядланган заррачалар (электронлар) таъсирида хусусий структуравий нуқсонлар ва активатор марказларида уйғотиладиган рекомбинациявий люминесценцияларнинг механизмлари аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

MeFX тоифасидаги SrFCl, BaFCl ва BaFCl кристалларидаги турли радиация таъсирида пайдо бўладиган структуравий нуқсонлар идентификациялаштирилган ва уларнинг спектрал намоён бўлиш соҳалари, термик стабиллик соҳаси аниқланган;

MeFX тоифасидаги кристалларда радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлиш ва уларнинг бир-бирларига айланиш қонуниятлари аниқланган;

легирловчи киридиларнинг радиация билан уйғотилган жараёнларга таъсир этиш қонуниятлари аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги вазифаларнинг тўғри қўйилганлиги ва физикавий жиҳатдан асосланганлиги, кенг зонали оптикавий материалларни тадқиқ этишнинг яхши синовдан ўтган замонавий абсорбциявий, люминесценциявий, термо- ва фотоактивациявий услублардан фойдаланилгани, катта ҳажмдаги тажрибавий натижалар олинганлиги ва уларнинг конденсирланган ҳолат физикасининг фундаментал қонунлари ва асосий қоидаларига мос келиши, олинган натижаларнинг бошқа муаллифлар томонидан олинган натижалар ва хулосаларга зид келмаслиги билан таъминланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларнинг илмий аҳамияти шундаки, улар MeFX тоифасидаги кристаллардаги хусусий ва бир қанча киринди нуқсон марказларининг спектрал хусусиятлари ва идентификацияси ҳақида янги маълумотлар олиш

имконини беради, бу эса ушбу тоифадаги кристалларда радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлишининг ва радиация билан уйғотиладиган жараёнлар қонуниятларининг тўлароқ манзарасини тавсифлаш имконини беради.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундаки, улар MeFX тоифасидаги кристалларнинг радиация таъсирига чидамлилигини яхшилаш ва бу материаллар асосида тайёрланган ашёларнинг хусусиятларини мақсадга мувофиқ бошқариш имкониятини беради.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I) кристалларида кечадиган радиацион жараёнларни аниқлаш асосида:

SrFCI ва BaFI кристалларида радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлишининг икки босқичда амалга оширилиши, бунда биринчи босқич кристаллар структурасида мавжуд бўлган нуқсонларда заряд қамраб олиниши билан, иккинчи босқич эса автолокаллашган экситонларнинг нурланишсиз емирилиши натижасида янги радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлиши билан боғлиқ эканлигининг кўрсатилиши ОТ-Ф2-081 рақамли “Таркибида киришма-нуқсонли ассоциатлар бўлган кремний монокристалларидаги нуқсонларнинг ҳосил бўлиш қонуниятларини ва яримўтказгич-диэлектрик беркитилган бўлиниш чегарасида ҳосил бўладиган динамик жараёнларни ўрганиш” (2007-2011) фундаментал лойиҳасида назарий ва амалий натижаларни тавсифлашда қўлланилган (Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2018 йил 6 июнда берилган 89-03-2223-сонли маълумотномаси). Илмий натижаларининг қўлланилиши кремнийли яримўтказгич структураларда нуқсонлар ҳосил бўлиши механизмларини аниқлаш имконини берган;

BaFCI ва BaFI кристалларида автолокаллашган экситонларнинг активация энергиясини ҳисоблаш учун қўлланилган усул ОТ-Ф2-081 рақамли “Таркибида киришма-нуқсонли ассоциатлар бўлган кремний монокристалларидаги нуқсонларнинг ҳосил бўлиш қонуниятларини ва яримўтказгич-диэлектрик беркитилган бўлиниш чегарасида ҳосил бўладиган динамик жараёнларни ўрганиш” (2007-2011) фундаментал лойиҳасида кремнийли структуралардаги радиацион нуқсонларнинг термик куйдириш жараёнидаги активация энергиясини ҳисоблаш учун татбиқ этилган (Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2018 йил 6 июнда берилган 89-03-2223-сонли маълумотномаси). Илмий натижаларининг қўлланилиши яримўтказгичли кристаллардаги радиацион нуқсонларнинг бир-бирига айланиши ва радиация таъсирида рўй берадиган фотоэлектрик ҳодисаларни ўрганиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 3 та Халқаро ва 3 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси доирасида жами 13 та илмий иш нашр қилинган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 5та мақола, шулардан 3 таси хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, беш боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат. Диссертациянинг умумий ҳажми 121 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида мавзунинг долзарблиги асосланган, бу йўналишдаги тадқиқотларнинг ҳозирги ахволи баён этилган, тадқиқотнинг мақсад ва вазибалари, олинган натижаларнинг янгилиги ва амалий аҳамияти аниқланган, нашр этилган ишлар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“MeFХ тоифасидаги кристалларнинг кристалл ва электрон структураси”** деб номланган биринчи бобида адабиётларда эълон қилинган натижалар шарҳи баён қилинган бўлиб, унда MeFХ тоифдаги кристалларнинг кристалл тузилиши ва зонавий структураси, шунингдек легирланмаган ва Tl, W, Eu, Ce киридилари билан легирланган кристалларнинг спектрал ва радиация билан уйғотиладиган хусусиятларини тадқиқ этиш натижалари келтирилган. Шунингдек, кристалларининг рентген қурилмалари экрани сифатида қўлланилишига оид маълумотлар ҳам баён қилинган. Адабиётларда эълон қилинган ишлар таҳлили асосида тадқиқотнинг мақсад ва вазибалари аниқланган.

Диссертациянинг **“Тадқиқот объектлари ва тажриба услублари”** деб номланган иккинчи боб тадқиқот объектларини олиш технологиясига, шунингдек тажрибалар услуби ва техникаси баёнига бағишланган. Ўрганилган номинал тоза ва Tl, W, Eu, Ce киридилари билан легирланган MeFХ кристаллари ВНИСИМСда (Александров ш., Россия) гидротермаль усул билан 20% ли КОН эритмасида синтез қилинган. Шихта сифатида “С” маркали SrF₂, BaF₂ ва BaI₂ дан фойдаланилган. Автоклавдаги босим 300 атм ни ташкил қилган. Эриш ҳарорати 563 К, кристалланиш ҳарорати 483 К. Киридиларнинг шихтадаги концентрацияси 0,02–5 моль % ни ташкил қилади.

Оптик ютилиш спектрларини ўлчаш учун намуналардан қалинлиги 0,4–2,4 мм бўлган пластинкалар ажратиб олинди. Оптик ютилиш спектрлари хона ҳароратида «Карл-Цейсс» (Германия) фирмасининг Specord-M40 ва Specord UV-VIS спектрофотометрларида ёзиб олинди.

Кристалларнинг фотолюминесценцияси хона ҳароратида «Хитачи» (Япония) фирмасининг MPF-2А спектрофлюориметрида, рентген люминесценция спектрлари 77–480 К ҳарорат оралиғида МСД-2 монохроматори асосида йиғилган ускунада, катод люминесценцияси спектрлари эса хона ҳароратида телевизорнинг электрон нурли трубкаси асосида (трубкадаги кучланиш 30 кВгача, ток 3 мАгача) ишланган махсус ускунада ўлчанди. Люминесценция 200–800 нм оралиғида монохроматорнинг чиқишида ФЭУ-39 фотокўпайтиргичи орқали қайд қилинди. Рентген нурлари манбаи сифатида РУП-120 (120кВ, 5мА) ускунаси

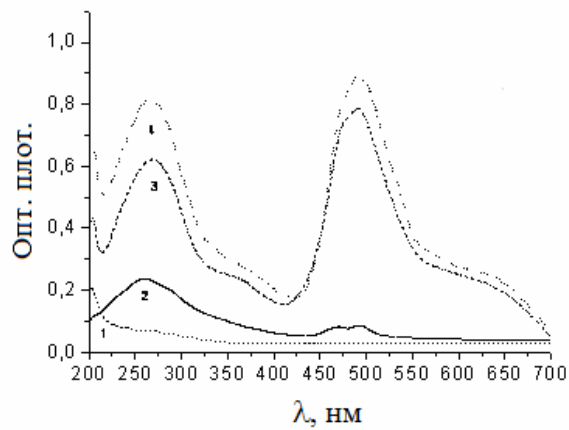
ишлатилди. Гаммалюминесценция 77–300 К ҳарорат оралиғида асосий элементи МСД-1 монохроматори бўлган ускунада текширилди. Нур ўтказгич юқори қайтариш коэффициентига (90%) эга бўлган алюминий трубкадан ясалди. Нур ўтказгичнинг охирига намуналарни ушлаб турувчи мослама маҳкамланиб, паст ҳароратдаги ўлчашларда у намуна билан бирга Дьюар идишига жойлаштирилиб, 77 К гача совутилди. Кристалларнинг термолюминесценцияси 77–480 К ҳароратлар оралиғида ҳароратни ўлчаш учун термопара билан таъминланган махсус печ ёрдамида ўрганилди. Қиздириш тезлиги 6–7 град/мин ни ташкил этди. Нурлантирилган намуналарнинг нурланишдан кейинги люминесценция (послесвечение) кинетикаси айланувчи дисклар усули билан аниқланди.

Намуналар ЎзР ФА Ядро физикаси институтининг ^{60}Co манбали гамма-қурилмасида қуввати 200–1200 Р/с бўлган γ - нурлари билан 10^5 – 10^{10} рад доза оралиғида нурлантирилди. Кристаллар суюқ азот ҳароратида (77 К) шиша Дьюар идишида ёки пенопласт стаканларда, каналлар ҳароратида (300–320 К) эса алюминий фольга ичида нурлантирилди.

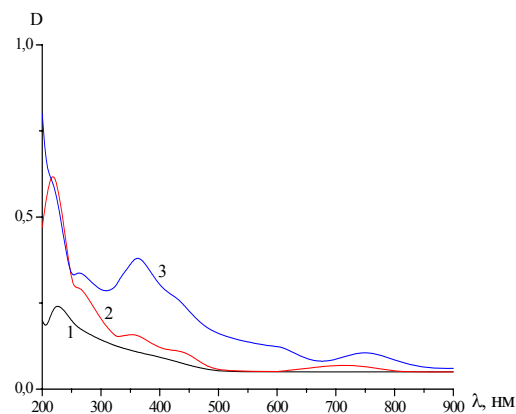
Нурлантирилган намуналарни ёўғлик нури билан рангсизлантириш (ЁНБР) жараёнида объектлардаги бўялиш марказларининг емирилиши ёки бир ҳолатдан бошқасига ўтиши ўрганилди. ЁНБР ютилиш марказларининг ютилиш соҳаларида симоб лампаси воситасида УФС-1, СС-9, ЖС-12, ОС-11, КС-13 ёруғлик филтрлари ёрдамида ажратилган ёруғлик нури билан таъсир этиш орқали амалга оширилди.

γ - нурлари билан нурлантирилган намуналарнинг термик рангсизланиши махсус печда намуналарни 600 К гача ҳар эллик градусда зинасимон қиздириш орқали амалга оширилди. Бунда намуна маълум бир белгиланган ҳарорат 10 минут давомида ушланиб, кейин секинлик билан хона ҳароратигача совутилди ва шундан сўнг оптикавий ютилиш спектри хона ҳароратида ўлчанди.

Диссертациянинг **“Легирланмаган MeFХ кристалларида радиациявий нуқсонлар”** деб номланган учинчи бобида легирланмаган MeFХ кристалларидаги асосий радиациявий нуқсонларни ўрганиш натижалари келтирилган. Ўрганилган ҳамма кристалларда γ - нурлари таъсирида радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлади. 1 ва 2 расмларда ВаFI ва SrFCI кристаллари учун хос бўлган структуравий нуқсонларнинг ютилиш спектрлари кўрсатилган.

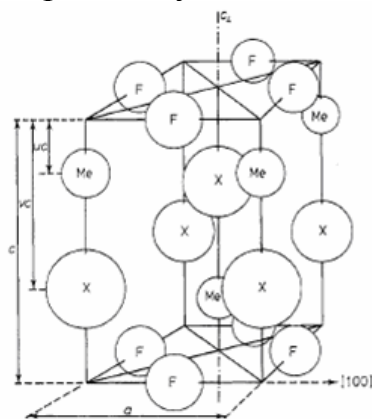


1-расм. Дастлабки (1) ва гамма нурлари билан 10^6 рад (2), 10^7 рад (3), и 10^8 рад (4) дозада нурлантирилган ВаFІ кристалларининг оптик ютилиш спектрлари



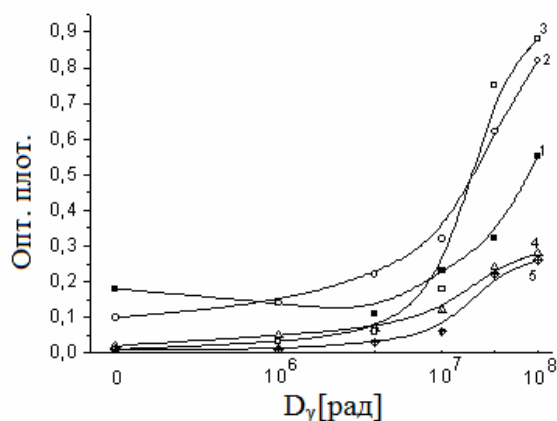
2-расм. Дастлабки ҳамда 10^5 , 10^6 , 10^7 , 10^8 ва 5×10^8 Рад (1), 10^9 Рад (2) ва 10^{10} Рад (3) γ -нурлари билан нурлантирилган SrFCl кристалларининг оптик ютилиш спектрлари

Кристалларда икки турдаги α - марказлар, икки турдаги F- марказлар, икки турдаги H- марказлар ва икки турдаги I- марказлар пайдо бўлади. Бу ҳолат ушбу тоифадаги кристаллар структурасида бир-бирдан фарқ қилувчи икки турдаги анион вакансиялари мавжуд эканлиги билан боғлиқ (3-расм).



3-расм. MeFX бирикмалари учун элементар ячейка

Нурланиш дозаси ошиб бориши билан кристалларда радиациявий нуқсонлар тўпланиши икки босқичда амалга ошади (4-расм).

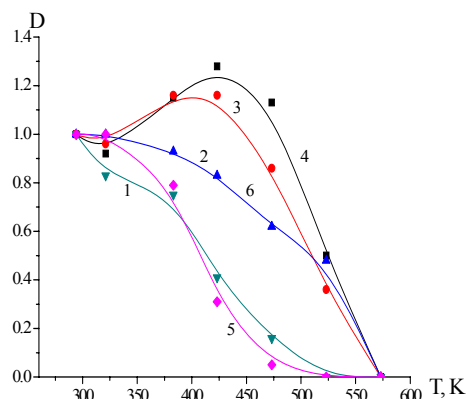


4-расм. ВаFІ кристалларидаги 205 нм (1), 480 нм (2), 270 нм (3), 370 нм (4) ва 610 нм (5) да бўлган ютилиш полосалари оптик зичликларининг дозага боғлиқ ўзгариши

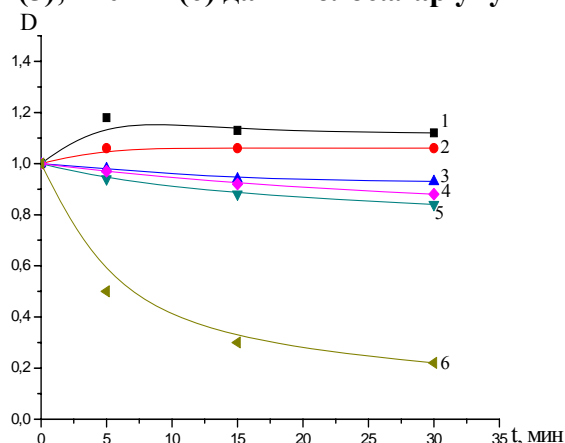
Биринчи босқич кристалларда нурланишгача мавжуд бўлган нуқсонларда зарядларнинг қамралиши билан характерланади. Бу босқичда γ -нурлари таъсирида ҳосил бўлган эркин электронлар кристаллар ўсишида ҳосил бўлган анион вакансияларида қамралади ва уларни F- марказларга айлантиради. Биринчи босқичда ҳосил бўлувчи F- марказларнинг ғовакли шериклари охиригача аниқланган эмас. Гарчи ҳамма намуналарда нурлантиришгача α - марказлар мавжуд бўлсада, SrFCl кристалларида нуқсонлар тўпланишининг биринчи босқичи кузатилмайди (2-расм). Ушбу фактдан α - марказларнинг мавжудлиги уларнинг F- марказларга айланиши учун етарли эмас, деган хулосага келинган. Бунинг учун ғоваклар қамраладиган нуқсонлар бўлиши зарур. SrFCl кристалларидан фарқли равишда ВаFCl и ВаFІ кристалларида нурлантиришгача маълум бир (эхтимол, киринди) нуқсонлари мавжуд бўлиб, кристалларни ионлаштирувчи нурлар билан нурлантириш жараёнида уларда ғоваклар қамралади, деб тахмин қиламиз.

Иккинчи босқичда радиациявий нуқсонлар автолокаллашган экситонларнинг нурланишсиз емирилиши билан ҳосил бўлади. Бунда F- ва α -марказлар билан бир қаторда уларнинг генетик боғланиш жуфтлари – H- ва I-марказлар ҳам ҳосил бўлади.

Полосалар интенсивлигининг дозага (2- ва 4 расмлар) ва ҳароратга (5-расм) боғлиқ ўзгаришини, шунингдек, бўялиш марказлари ютилиш полосалари максимумида ёруғлик билан таъсир этишда полосалар интенсивлиги ўзгаришларни ўрганиш (6-расм) услубидан фойдаланиб, нурлантирилган ВаFІ кристалларидаги максимуми 205 нмда бўлган полоса $\alpha(F^-)$ - марказлар билан, 230 нмдаги полоса $\alpha(I^-)$ - марказлар билан, 270 нмдаги полоса F_i^0 - марказлар билан, 370 нмдаги полоса I_i^0 - марказлар билан, 470 ва 485 нмларда жойлашган дублет полоса $F(F^-)$ - марказлар билан ва 610 нмдаги полоса $F(I^-)$ - марказлар билан боғлиқ эканлиги курсатилди (1-жадвал).



5-расм. ВаF1 кристалларини γ - нурлари билан 10^8 рад дозада нурлантирганда ҳосил бўладиган полосалар нормаланган интенсивликларининг қиздириш температурасига боғлиқ ўзгаришлари: 610 нм (1); 480 нм (2); 230 нм (3); 205 нм (4); 370 нм (5); 270 нм (6) даги полосалар учун



6-расм. ВаF1 кристалларини γ - нурлари билан 10^8 рад дозада нурлантирилганда ҳосил бўладиган полосалар нормаланган интенсивликларининг $\lambda > 620$ нм ёруғлик нури билан таъсир этиш вақтига боғлиқ ўзгаришлари: 205 нмдаги (1); 230 нмдаги (2); 270 нмдаги (3); 480 нм даги(4);370 нмдаги (5) ва 610 нмдаги (6) полосалар учун

1 жадвал

MeFX кристалларидаги радиациявий нуқсонларнинг ютилиш полосалари максимумлари, нм ларда

MeFX	$\alpha(F^-)$	$\alpha(Cl^-)$	$\alpha(I^-)$	F(F^-)	F(Cl^-)	F(I^-)	F_i^o	Cl_i^o	I_i^o
SrFCl	208	~208		370	450		265	330	
BaFCl [Аташов бўйича]	205	~205		450	570		240	335	
BaF1	205		230	480		610	270		370

Шундай услублар билан SrFCl кристалларида 208 нмдаги полоса $\alpha(F^-)$ -марказларнинг, 265 нмдаги полоса F_i^o - марказларнинг, 330 нмдаги полоса Cl_i^o – марказларнинг, 370 нмдаги полоса F(F^-) -марказларнинг, 450 нмдаги полоса F(Cl^-) -марказларнинг ютилиши билан алоқадорлиги аниқланди. SrFCl

кристалларидаги 610 ва 750 нмдаги полосаларнинг табиати охиригача аниқланмади, бу полосаларнинг мураккаброқ $M(F^-)$ - ва $M(Cl^-)$ -марказлар (электрон қамралган фтор ва хлор дивакансиялари) билан алоқадор эканлиги тахмин қилинди).

Аввал куйидаги ишда [Нуритдинов И., Аташов Б.Т., Ким Ген Чан. Радиационное дефектообразование в кристаллах BaFCl. // Узбекский физический журнал. 1999. Т.1. № 4. С 283–288.] BaFCl кристалларида $F(Cl^-)$ -марказлар 570 нм даги полоса билан, $F(F^-)$ - марказлар 450 нм даги полоса билан, $\alpha(F^-)$ - ва $\alpha(Cl^-)$ - марказлар 205 нм даги полоса билан, F_i^0 - ва Cl_i^0 – марказлар мос равишда 240 ва 335нм даги полосалар билан характерланиши кўрсатилган эди (1-жадвал).

Структуравий нуқсонларнинг радиация таъсирида вужудга келишининг бошланиш дозаси сифатида аниқланган кристалларнинг радиация таъсирига турғунлигининг чегаравий дозаси аниқланди, у MeFX тоифасидаги кристалларнинг панжара доимийси катталашиши билан камайиши аниқланди. MeFX тоифасидаги кристаллар орасида радиация таъсирига энг турғуни SrFCl бўлиб, унда радиациявий нуқсонлар γ - нурлантиришнинг 5×10^8 рад дозасидан сўнг бошланади. Турғунлик бўйича ундан кейинги ўринда BaFCl кристаллари бўлиб, уларда нуқсонларнинг радиация таъсирида барпо этилиши 10^7 рад дозадан кузатила бошлайди. Радиациявий нуқсонлар BaFI кристалларида 5×10^6 раддан бошлаб пайдо бўлади (2-жадвал).

2-жадвал

MeFX тоифасидаги кристалларнинг элементар ячейкаси параметрлари ва радиацияга турғунлигининг чегаравий дозаси

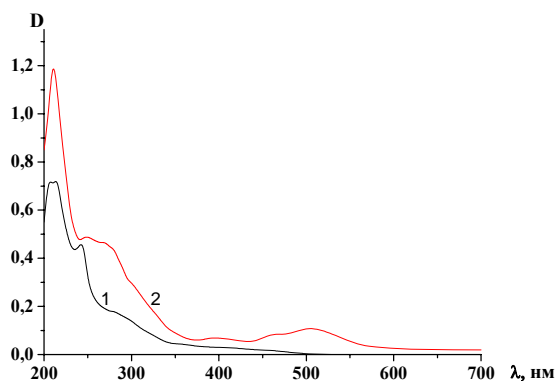
Кристаллар, MeFX	Элементар ячейка параметрлари		Радиацияга турғунлигининг чегаравий дозаси, Рад
	a, Å	c, Å	
SrFCl	4.126	6.958	5×10^8
BaFCl	4.394	7.225	10^7 [Аташов бўйича]
BaFI	4.654	7.962	5×10^6

Диссертациянинг “Кириндиларнинг BaFI кристалларидаги радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлишига ва нуқсонларнинг бир-бирига айланишига таъсири” деб номланган тўртинчи бобида BaFI кристалларига киритилган Eu, W ва Ti кириндиларнинг радиациявий нуқсон марказлари ҳосил бўлишига, ҳамда нуқсонларнинг ҳарорат ва ёруғлик таъсирига турғунлигига таъсирини ўрганиш натижалари баён қилинади.

MeFX кристалларини Eu ва W кириндилари билан легирлаш нурлантиришгача ҳам, турли дозаларда γ - нурлари билан нурлантиригандан кейин ҳам оптик ютилиш спектрларини легирланмаган кристалларга нисбатан сезиларли ўзгаришларига олиб келмаслиги кўрсатилди. BaFI кристалларининг оптик ютилиш спектрларида Eu ва W кириндилари билан

легирланган, ҳам легирланмаган кристалларда нурланишдан сўнг максимумлари 205, 230, 270, 370, 480 ва 610 нм да жойлашган, $\alpha(F^-)$ -, $\alpha(\Gamma^-)$ -, F_i^0 -, I_i^0 -, $F(F^-)$ -, $F(\Gamma^-)$ - марказлар билан боғлиқ ва интенсивликлари бир-бирига яқин бўлган полосалар пайдо бўлади. Бу ҳолат Eu ва W киридилари γ -нурлари билан нурлантирилганда ўзларининг заряд ҳолатларини ўзгартирмасликлари ва кристалларда радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлишида бевосита иштирок этмасликлари ҳақида гувоҳлик беради. Ушбу киридилар радиациявий нуқсонларнинг ҳарорат ёки ёруғлик нури таъсирига турғунлигига ҳам сезиларли таъсир кўрсатмайди.

BaF_2 кристали структурасига таллий киридисининг киритилиши эса оптик ютилиш спектрида Tl^{2+} ионлари билан боғлиқ максимумлари 210, 240 ва 290 нм даги полосаларнинг пайдо бўлишига олиб келади (7-расм, 1-эгри чизиқ). Нурланиш таъсирида Tl^{2+} ионлари электронларни қамраб, Tl^+ ҳолатига ўтади ва 208 ва 390 нмдаги полосаларнинг пайдо бўлишига олиб келади (7-расм, 2-эгри чизиқ). Легирланмаган кристалларда радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлишининг биринчи босқичида (5×10^6 радгача) $BaF_2:Tl$ кристалларида электронлар асосан Tl^{2+} ионларида қамралади, бу эса Tl^+ ионлари билан боғлиқ 208 нмдаги полоса интенсивлигининг ошишига олиб келади. $BaF_2:Tl$ кристаллида $\alpha(F^-)$ - марказлар ва Tl^{2+} ионлари ўртасида электрон қамраш учун рақобат вужудга келади. Tl^{2+} ионларида электронлар қамраш кўндаланг кесими $\alpha(F^-)$ - марказлардагига нисбатан анчагина катта бўлганлиги сабабли электронлар асосан Tl^{2+} ионларида қамралади. Шу сабабли 205 нм даги ютиш полосаси интенсивлигининг камайиши ва $F(F^-)$ -полосаси интенсивлигининг ошиши рўй бермайди ва 210 нм даги полоса интенсивлигининг ошиши кузатилади.



7-расм. Нурлантирилмаган (1) ва γ -нурлари билан $4,8 \times 10^8$ рад дозада нурлантирилган (2) $BaF_2:Tl$ кристалларининг оптик ютилиш спектрлари

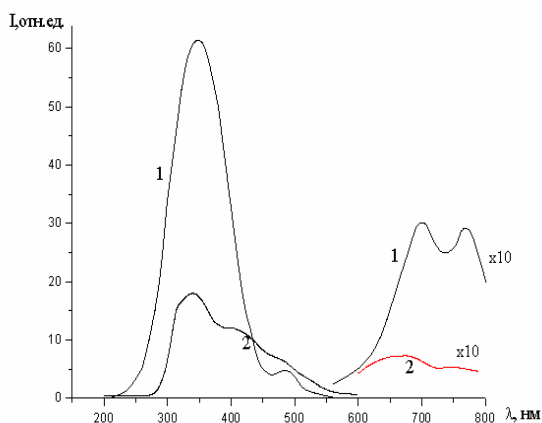
Нуқсонлар ҳосил бўлишининг иккинчи босқичида ($D > 10^7$ рад) электрон уйғонишларнинг нурланишсиз емирилиши туфайли, ҳам легирланган, ҳам легирланмаган кристалларда $\alpha(F^-)$ - $I(F^-)$ жуфтлари ҳосил бўлади. Бир хил дозада (10^8 рад) нурлантирилганда кристалл структурасига Tl^{2+} киридисини киритилиши лигерланмаган кристалларга нисбатан $F(F^-)$ - марказлар ютилиш полосаси интенсивлигини 9 марта, $F(\Gamma^-)$ - марказлар полосаси интенсивлигини

4 марта камайишига олиб келади. Чунки камраш кўндаланг кесими катта бўлганлиги сабабли электронлар асосан Tl^{2+} ионларида камралиб, уларни Tl^{+} ҳолатига ўтказди ва жуда кам миқдордаги электронлар $\alpha(F^{-})$ - марказларда камралиб, $F(F^{-})$ - марказлар ҳосил қилади. Аммо ҳар иккала намунада ҳам ғоваклар бир хил эҳтимоллик билан $I(F^{-})$ - марказларда камралиб, 270 нм соҳада ёруғликни ютувчи F_i^0 - марказларни ҳосил қилади, шу сабабли ҳар иккала намунада ҳам интенсивлиги бир-бирига яқин бўлган 270 нм даги полоса ҳосил бўлади (1- ва 7- расмларга қаранг).

Tl^{2+} кириндисининг киритилиши, шунингдек, радиациявий нуқсон марказларнинг ҳароратга ва фототаъсирга турғунлигига ҳам сезиларли таъсир кўрсатади. Бу ҳодиса киринди марказларда катта миқдордаги зарядларнинг қамраб олиниши ва хусусий радиациявий марказларга нисбатан бу марказларда зарядларни озод қилиш энергиясининг қиймати фарқ қилиши билан тушунтирилади.

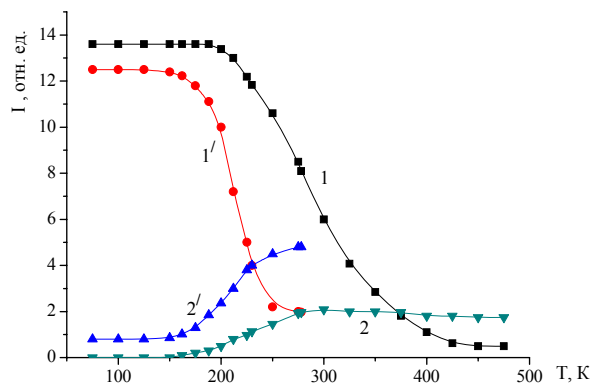
Диссертациянинг **“ВаFCl ва ВаFI кристалларининг люминесценциявий хоссалари”** деб номланган бешинчи бобда легирланмаган ва легирланган ВаFCl ва ВаFI кристалларининг хусусий ва активатор билан боғлиқ люминесценция хусусиятларини таққослаш асосидаги тадқиқотлар натижалари келтирилган. Бунда ВаFI кристаллари учун максимуми 300–340 нмда, ва ВаFCl кристаллари учун максимуми 360–365 нмда бўлган люминесценция полосалари (V_k+e^{-}) кўринишидаги АЛЭларнинг нур чиқариши билан боғлиқ эканлиги аниқланди (8-расм). АЛЭлар ҳаракатланишининг активация энергияси топилди: улар ВаFCl учун $E_T=0.24$ эВ ва ВаFI учун $E_T=0.20$ эВ бўлиб, АЛЭлар люминесценциясининг сўниши активация энергиясига мос келади.

ВаFCl ва ВаFI кристалларида F- ва V- марказлар типигаги радиациявий нуқсонларнинг самарали ҳосил бўлишига мос келувчи γ - нурлар билан нурлантириш дозаларида ($D_\gamma > 5 \times 10^6 - 10^7$ рад) ҳам АЛЭнинг, ҳам киритилган активаторларнинг люминесценцияси интенсивлигининг кучли камайиши активаторлар люминесценциясининг АЛЭдан активаторларга энергия узатилиши йўли билан уйғотилишидан далолат беради.



8-расм. Легирланмаган ВаFCl (1) ва ВаFI (2) кристалларининг 300 К ҳароратдаги РЛ спектрлари

АЛЭ ва активаторлар люминесценцияси интенсивлигининг дозага боғлиқ ўзгаришлари (9-расм) кристаллардаги радиациявий структуравий нуқсонлар сонининг дозага боғлиқ ўзгаришларига (3- расмга қаранг) тескари пропорционаллиги факти АЛЭларнинг нурланишсиз структуравий нуқсонларга емирилишини кўрсатади.



9 -расм. Легирланмаган ВаFCl (1, 2) ва ВаFI (1', 2') кристалларида максимумлари 360–365 нм (1), 300–340 нм (1'), 700–770 нм (2) ва 640–700 нмда (2') бўлган РЛ люминесценция полосалари интенсивликларининг ҳароратга боғлиқ ўзгаришлари

MeFX кристаллари структурасига Eu кириндиси киритилганида активатор люминесценцияси битта элементар симметрик полосадан ташкил топади. Масалан, ВаFCl кристаллари люминесценция спектрларида максимуми ~ 395 нмда ва ярим кенглиги 20 нм бўлган, ВаFI кристаллари спектрида эса максимуми ~ 390 нмда ва ярим кенглиги 20 нм бўлган люминесценция кузатилади. Люминесценция Eu^{2+} ионларининг $4f^65d^1 \rightarrow 4f^7$ ($^8S_{7/2}$) электрон ўтишлари билан боғлиқ. Кристалларга Се кириндиси киритилганида эса люминесценция спектрларида ВаFCl кристаллари учун максимумлари 310 и 325 нмда, ВаFI кристаллари учун 305 и 320 нмда бўлган дублет полосалар қайд этилади. Люминесценция Ce^{3+} ионларининг $5d \rightarrow 4f(^2F_{7/2})$ - и $5d \rightarrow 4f(^2F_{5/2})$ ўтишлари билан боғлиқ. Иккала кристаллар учун ҳам полосаларнинг ярим кенглиги ~55 нмни ташкил этади. Полосаларнинг максимумларининг спектрдаги ўрни ва яримкенгликлари кириндилар концентрациялари ва нурлантириш дозаси ўзгариши билан ўзгаришсиз қолади. Бу натижалар MeFX кристаллар панжараларида активаторларнинг биргина кристаллографик ўрни мавжудлигини кўрсатади.

Кириндилар билан активлаштирилган кристаллар γ - ёки рентген нурлари билан уйғотилганда АЛЭлар люминесценцияси камаяди, кириндиларнинг маълум концентрациясида эса люминесценция бутунлай йўқолади. Спектрларда кириндилар билан боғлиқ ҳаракатчан АЛЭ энергиясининг ушбу кириндиларга узатилиши билан боғлиқ нисбатан интенсив люминесценция полосалари пайдо бўлади. Бундан фарқли ҳолда, легирланган кристалларнинг КЛ(катодолюминесценция) спектрларида активатор люминесценцияси интенсивлиги кучли камаяди ва нисбатан интенсивлиги катта АЛЭ люминесценцияси кўрилади. Кузатилган ҳодиса электромагнит

нурлар (рентген ёки гамма нурлари) ва зарядланган зарралар (электронлар)нинг моддалар билан ўзаро таъсир механизмларининг турлича эканлиги билан тушунтирилади.

Намуналарни электронлар билан нурлантиришда асосан модда атомларининг (ёки ионларининг) ионлашуви ва электронларининг уйғотилиши содир бўлади, бу жараёнда тушувчи электронлар энергиясининг йўқотилиши вужудга келади. Модда атомларидаги электронлар билан ўзаро Кулон таъсирда тушувчи электронларнинг энергияси камаяди ва “эркин югириш йўли” деб аталувчи R_{max} масофани босиб ўтгач, электронлар тўхайди. Одатда тажрибаларда КЛ уйғотиш учун қўлланиладиган $kэВ$ энергияли электронлар учун турли моддаларда R_{max} нинг қиймати бир неча микрондан ортмайди.

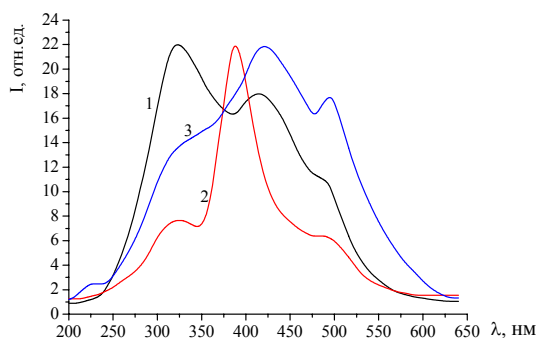
Агар кристалларнинг V ҳажмида икки турдаги бир-бири билан таъсирлашмайдиган ҳар хил люминесценция марказлари мавжуд бўлса, люминесценция интенсивлиги қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$I = \tau_{1uzl}^{-1} N_{1\epsilon\epsilon\epsilon} + \tau_{2uzl}^{-1} N_{2\epsilon\epsilon\epsilon},$$

бунда τ_{1uzl}^{-1} ва τ_{2uzl}^{-1} – мос равишда биринчи ва иккинчи марказларнинг нурланиш билан ўтиши тезликлари, $N_{1\epsilon\epsilon\epsilon}$ ва $N_{2\epsilon\epsilon\epsilon}$ – биринчи ва иккинчи турдаги уйғонган марказлар сони.

Катодолюминесценцияси ҳолида электронлар модда билан сирт ости қатламидаги $V=SR_{max}$ ҳажмда ўзаро таъсирлашадилар, бу ерда хусусий уйғонган атомлар сони $N_{1\epsilon\epsilon\epsilon\epsilon}$ уйғонган активатор атомлари сони $N_{2\epsilon\epsilon\epsilon}$ дан бир неча даража ортиқ бўлади, яъни $N_{1\epsilon\epsilon\epsilon\epsilon} \gg N_{2\epsilon\epsilon\epsilon\epsilon}$, бу ҳолатда люминесценция интенсивлигини аниқловчи ифода қуйидаги кўринишга келади:

$$I = \tau_{1uzl}^{-1} N_{1\epsilon\epsilon\epsilon\epsilon}.$$



10-расм. Легирланмаган (1) ва Eu^{2+} билан легирланган (2,3) BaF_2 кристалларининг хона ҳароратидаги рентгенолюминесценция (1, 2) ва катодолюминесценция (3) спектрлари

Бундан, активаторларнинг унча катта бўлмаган концентрацияларида асосан хусусий марказларнинг (яъни АЛЭларнинг) люминесценцияси кузатилади,

деган хулоса келиб чиқадики, бу хулоса тажрибаларда олинган натижалари билан тасдиқланади.

Гамма квантлар электр зарядига эга эмас ва улар узоқдан таъсирлашувчи Кулон кучлари таъсирига учрамайди. Шу туфайли улар модда орқали ўтганида электронлар ва ядролар билан нисбатан кам миқдорда тўқнашишади ва ўз йулидан жуда кам миқдорда оғади, яъни амалда дастадан чиқиб кетмайди. Иккинчидан, улар тинчликдаги массага эга эмаслар, ёруғлик тезлигидан фарқли тезликка эга бўлмайдилар. Шу сабабли улар муҳитда тезлигини камайтира олмайдилар. Уларнинг энергияси моддада ўзгармайди, аммо интенсивликлари камаяди. Агар зарядланган заррачалар билан нурлантирилганда модданинг юпқа сирт қатлами ионлашса, гамма квантлар билан нурлантиришда модданинг бутун қалинлиги ионлашади. Шу сабабли ГЛ(гаммалюминесценция) ва РЛ(рентгенолюминесценция) жараёнида нурлантирилувчи модданинг бутун ҳажми уйғотилади ва уйғотилган хусусий марказлар миқдорининг уйғотилган активатор марказларига нисбати деярли бир хилда сақланади. Бунда активаторланинг нисбатан кичик концентрацияларида люминесценция спектрларида ҳам хусусий марказларнинг, ҳам активатор марказларнинг люминесценцияси кузатилади. Активаторлар концентрацияси ошиши билан кристалл асосидан активатор марказларига энергия узатиш эҳтимоли ортадиганлиги сабабли, активаторларнинг маълум концентрациясидан (масалан, ВаFІ кристалларида Eu^{2+} ионлари учун $\geq 5\%$ дан) бошлаб ГЛ ва РЛ спектрларида фақат активатор люминесценциясигина кузатилади.

ХУЛОСА

«MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I) кристалларида радиацион ҳодисалар» мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилади:

1. Биринчи марта ВаFІ кристалларида уйғотиладиган максимуми 300–340 нмда бўлган рекомбинациявий люминесценция (V_k+e^-) кўринишидаги АЛЭлар билан боғлиқ эканлиги исботланди, АЛЭларнинг ҳаракатчанлик активация энергияси $E_T=0.20$ эВга тенг аниқланди.

2. Биринчи марта SrFCl ва ВаFІ кристалларида радиациявий нуқсонлар АЛЭларнинг нурланишсиз емирилиши жараёнида ҳосил бўлиши кўрсатиб берилди. Бунда, кристаллар структурасида икки турдаги анион тугунлари мавжудлиги билан боғлиқ ҳолда, икки турдаги α - марказлар, икки турдаги F- марказлар, икки турдаги H- марказлар ва икки турдаги I- марказлар пайдо бўлиши аниқланди. Радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлиш жараёни нурланиш дозаси ошиб бориши билан икки босқичда амалга оширилиши, бунда биринчи босқич кристаллар нурлантирилгунча уларнинг структурасида мавжуд бўлган нуқсонларда зарядлар қамраб олиниши, яъни анионлар вакансияларида (α - марказларда) электронларнинг қамралиши билан уларнинг F- марказларга айланиши билан, иккинчи босқич эса радиациявий нуқсон марказлари автолокаллашган экситонларнинг нурланишсиз

емирилиши билан боғлиқ эканлиги исботланди. Иккинчи босқичда F- ва α -марказлар билан бирга уларнинг генетик боғланиш жуфтлари – мос равишда H- ва I- марказлар ҳам пайдо бўлиши кўрсатилди.

3. ВаFІ кристалларини γ - нурлари билан нурлантириш туфайли ҳосил бўладиган, максимуми 205 нмда жойлашган ютилиш полосаси $\alpha(F^-)$ -марказлар (фтор вакансиялари) билан, 230 нм даги полоса - $\alpha(\Gamma^-)$ - марказлар (йод вакансиялари) билан, 270 нм даги полоса - F_i° - марказлар (тугунлар орасидаги фтор) билан, 370 нм даги полоса - I_i° - марказлар (тугунлар орасидаги йод) билан, максимумлари 470 ва 485 нм ларда бўлган дублет полоса - $F(F^-)$ - марказлар (фтор вакансиясида қамралган электрон) билан ва 610 нм даги полоса - $F(\Gamma^-)$ - марказлар (йод вакансиясида қамралган электрон) билан боғлиқ эканлиги аниқланди.

4. Биринчи марта SrFCl кристалларида ҳосил бўладиган радиациявий нуқсонлар ютилиш полосаларининг идентификацияси амалга оширилди. Нурлантирилган SrFCl кристалларидаги 208 нм даги ютилиш полосаси $\alpha(F^-)$ -марказларга (фтор вакансияси), 265 нм даги полоса – F_i° - марказларга (тугунлар орасидаги фтор), 330 нм даги полоса – Cl_i° - марказларга (тугунлар орасидаги хлор), 370 нм даги полоса $F(F^-)$ - марказларга (фтор вакансиясида қамралган электрон), 450 нм даги полоса $F(Cl\Gamma^-)$ - марказларга (хлор вакансиясида қамралган электрон) тегишли эканлиги кўрсатилди.

5. MeFX тоифасидаги кристалларда кристалл ячейкалари параметрларининг катталаниши билан уларнинг радиация таъсирига турғунлиги камайиб бориши аниқланди. Кристаллар орасида радиация таъсирига энг бардошлиси SrFCl эканлиги, уларда радиациявий нуқсонлар гамма нурларининг 5×10^8 рад дозасидан пайдо бўла бошлаши, кейинги ўринда ВаFCl кристаллари бўлиб, уларда радиациявий нуқсонлар 10^7 рад дозадан кузатила бошлаши, ВаFІ кристалларида эса радиациявий нуқсонлар 5×10^6 рад дозадан бошлаб вужудга келиши аниқланди.

6. Спектроскопик тадқиқотлар билан MeFX кристаллари структурасига Eu ионлари икки валентли ҳолатда, Се киридилари эса уч валентли ҳолатда кириши исботланди. Европий билан активлаштирилган кристаллар люминесценция спектрида фақат битта полосанинг мавжудлиги ва церий ионлари киритилганда эса фақат битта дублет полосанинг мавжудлиги MeFX кристалларида активаторларнинг фақат биргина кристаллографик ҳолати мавжуд эканлигини кўрсатади.

7. MeFX кристалларини Eu ва W киридилари билан легирлаш нурлантиришгача ҳам, турли дозаларда γ - нурлари билан нурлантиригандан кейин ҳам оптик ютилиш спектрларини легирланмаган кристалларга нисбатан сезиларли ўзгаришларига олиб келмаслиги кўрсатилди. ВаFІ кристалларининг оптик ютилиш спектрларида Eu ва W киридилари билан легирланган, ҳам легирланмаган кристалларда нурланишдан сўнг максимумлари 205, 230, 270, 370, 480 ва 610 нм да жойлашган, $\alpha(F^-)$ -, $\alpha(\Gamma^-)$ -, F_i° -, I_i° -, $F(F^-)$ -, $F(\Gamma^-)$ - марказлар билан боғлиқ ва интенсивликлари бир-бирига яқин бўлган полосалар пайдо бўлади. Бу ҳолат Eu ва W киридилари γ - нурлари билан нурлантириганда ўзларининг заряд ҳолатларини

Ўзгартирмасликлари ва кристалларда радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлишида бевосита иштирок этмасликлари ҳақида гувоҳлик беради. Ушбу кириндилар радиациявий нуқсонларнинг ҳарорат ёки ёруғлик нури таъсирига турғунлигига ҳам сезиларли таъсир кўрсатмайди.

8. Биринчи марта ВаFІ кристалларига Tl кириндиси киритилганда оптик ютилиш спектрида Tl^{2+} ионларининг ютиши билан боғлиқ бўлган максимумлари 210, 240 и 290 нм да жойлашган полосалар вужудга келиши кўрсатиб берилди. Нурланиш таъсирида Tl^{2+} ионлари электронларни қамраб олиб, спектрда 208 и 390 нмдаги ютилиш полосаларини вужудга келтирувчи Tl^{+} ҳолатига ўтиши аниқланди.

9. ГЛ ва РЛдан фарқли равишда, ВаFCl и ВаFІ кристалларининг КЛ спектрларида активатор люминесценциясининг интенсивлиги кучли даражада камаяди ва интенсивлиги анчагина катта бўлган АЛЭларнинг люминесценцияси кўрилади. Бу ҳодиса қуйидагича тушунтирилади: катод люминесценцияси уйғотилаётганда электронлар модда атомлари билан сирт остидаги V ҳажмга эга бўлган юпқа қатламда ўзаро таъсирлашади, бу ерда модданинг хусусий атомлари сони активатор атомларига нисбатан бир неча даража ортиқ бўлади. γ -нурлари билан нурлантирганда эса нурлантирилаётган модданинг бутун ҳажми уйғотилади ва уйғонган хусусий люминесценция марказлари сонининг уйғонган активатор марказлари сонига нисбати кристаллнинг бутун ҳажми бўйича деярли бир хил сақланади, бу эса кристалларда анчагина активатор люминесценцияси уйғотилишига олиб келади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ,
АСТРОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ, НАЦИОНАЛЬНОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

УТЕНИЯЗОВА АЙСАРА БЕГМУРАТОВНА

**РАДИАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В КРИСТАЛЛАХ
MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I)**

01.04.07 – Физика конденсированного состояния

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

Ташкент – 2018

Тема диссертации доктора философии (Doctor of Philosophy) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2017.3.PhD/FM119.

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) и Информационно-образовательном портале «Ziynet» (www.ziynet.uz).

Научный руководитель:

Нуритдинов Иззатилло
доктор физико-математических наук,
профессор

Официальные оппоненты:

Ибрагимова Эльвира Меметовна,
доктор физико-математических наук
Рамазанов Асрор Хамраевич
кандидат физико-математических наук

Ведущая организация:

Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова

Защита диссертации состоится «___» _____ 2018 года в ___ часов на заседании Научного совета DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 при Институте ядерной физики, Астрономическом институте, Национальном университете Узбекистана (Адрес: 100174, г. Ташкент, пос. Улугбек, ИЯФ. Тел.: (+99871) 289-31-60; факс: (+99871)289-31-18; e-mail: info@inp.uz).

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Института ядерной физики (регистрационный номер ___), с диссертацией можно ознакомиться в ИРЦ (Адрес: 100214, г. Ташкент, поселок Улугбек, НУУз. Тел. (+99871) 289-31-19).

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2018 г.
(протокол рассылки № _____ от _____ 2018 г.).

М. Ю. Ташметов
председатель Научного совета по присуждению
ученой степени, д.ф.-м.н., профессор

Р. Ярмухамедов
ученый секретарь Научного совета по присуждению
ученой степени, д.ф.-м.н., профессор

С.Н. Нуритдинов
заместитель председателя научного семинара
при Научном совете по присуждению
ученой степени, д.ф.-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время во всем мире разработка фундаментальных основ изготовления различных типов детекторов для регистрации и измерения ядерных и ионизирующих излучений является одной из фундаментальных проблем, решению которой уделяется большое внимание. Среди множества методов детектирования ионизирующего излучения большое развитие получил сцинтилляционный метод регистрации и спектрометрии ионизирующего излучения из-за ряда преимуществ: высокая эффективность регистрации, значительная загрузочная способность и, соответственно, достаточно высокое временное и энергетическое разрешение, а также удобство и простота эксплуатации. В этом направлении достигнут большой прогресс в создании и применении детекторов на основе кристаллов фторидов щелочноземельных элементов, среди которых кристаллы класса MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I), активированные различными примесями, занимают особое место.

Активированные кристаллы MeFX, применяемые сегодня в мире в качестве детекторов, запасают часть поглощенной энергии в виде метастабильных центров. В этих материалах изображение, созданное рентгеновским излучением, остается стабильным в темноте длительное время при комнатной температуре, что успешно применяется для создания запоминающих рентгеновских экранов (imaging plate). В медицине применение запоминающих рентгеновских экранов в диагностике приводит к существенному уменьшению лучевой нагрузки на пациента. Несмотря на существенные успехи в направлении рентгеновского хранения и считывания информации, до сих пор механизмы этих процессов не были полностью выявлены, что препятствовало повышению эффективности люминофоров этого класса. Решение этой проблемы непосредственно связано с целенаправленными исследованиями закономерностей протекания радиационно стимулированных процессов в этом классе материалов, что является одной из актуальных задач физики конденсированного состояния.

В Республике уделяется большое внимание разработке фундаментальных основ изготовления различных типов детекторов для регистрации и измерения ядерных и ионизирующих излучений, а также проведению фундаментальных исследований в этом направлении на мировом уровне. Направления этих фундаментальных исследований, имеющих большое значение для развития науки нашей страны и её дальнейшего практического применения, отражены в Стратегии¹ действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 гг.

Исследования, проведенные в данной диссертационной работе, соответствуют задачам, предусмотренным в Указах Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию

¹ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 07 февраля 2017 г.

Республики Узбекистан на 2017–2021 гг.» от 2 февраля 2017 года, № УП-4958 «О дальнейшем совершенствовании системы послевузовского образования» от 16 февраля 2017 года, в Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данном направлении.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Диссертационное исследование проведено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в Республике Узбекистан: II. “Энергетика, энерго- и ресурсосбережение”.

Степень изученности проблемы. Исследования по синтезу кристаллических и электронных структур кристаллов класса $MeFX$ ($Me-Sr, Ba$; $X-Cl, I$), спектроскопическим характеристикам и радиационным процессам в этих материалах, применению их в качестве сцинтилляторов и рентгеносохраняющих люминофоров проведены ведущими учеными научно-исследовательских центров мира, в том числе американскими (R.C. Baetzold, D.J. Singh, A.L. Ruoff), японскими (K. Takahashi, K. Kohida, K. Inabe, S. Nakamura, A. Ohnishi), немецкими (E. Niclas, F. Fischer, S. Assmann, S. Schweizer), французскими (E. Decremps, M. Gauthier), швейцарскими (B.W. Liebich, D. Nicollin), индийскими (K. Somaiah, V. Hari Babu, G. Gundiah, S.V. Upadeo, G. Kalapana), китайскими (M.Z. Su, X.P. Sun, W. Chen), российскими (А.А. Шалаев, Е.А. Раджабов, Р. Шендрик), израильскими (N. Kristianpoller, A. Shmilevich), узбекскими (И. Нуритдинов, Б.Т.Аташов) и другими учеными.

В результате этих исследований установлено, что в структуре этих кристаллов имеется два типа анионных узлов, поэтому при облучении образуются два типа анионных вакансий ($\alpha(F^-)$ - и $\alpha(X^-)$ - центры) и два типа F- центров ($F(F^-)$ - и $F(X^-)$ -центры). Среди кристаллов $MeFX$ характеристики радиационных дефектов относительно подробно изучены в кристаллах $BaFCl$. Установлено, что явление рентгеновского хранения изображений непосредственно связано с созданием и преобразованием радиационных дефектов. Однако природа дефектов, механизмы явлений радиационного дефектообразования и рентгеновского хранения изображений для других представителей этого класса, особенно для $SrFCl$ и $BaFI$, считающихся наиболее перспективными для этих целей, изучены недостаточно полно.

Применение кристаллов класса $MeFX$ основывается на люминесцентных свойствах этих материалов, активированных ионами Eu^{2+} , Sm^{2+} и Ce^{3+} . Несмотря на то, что электронные переходы вышеуказанных активаторов для кристаллов этого класса при возбуждении ультрафиолетовым и видимым светом исследованы относительно подробно, механизмы возбуждения рекомбинационной люминесценции, особенно

механизмы возбуждения фотостимулированной люминесценции (ФСЛ), исследованы слабо, а имеющиеся данные являются противоречивыми.

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

Целью исследования является определение закономерностей радиационно-стимулированных явлений в нелегированных и легированных примесями Eu, Ce, W и Tl кристаллах класса MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I) при облучении ионизирующими излучениями.

Задачи исследования:

исследовать дозовые зависимости создания радиационно-наведенных центров;

изучить фото- и термическую стабильность радиационных центров;

уточнить механизмы фото-, термо-, рентгено-, гамма- и катодолюминесценции в нелегированных и легированных кристаллах;

идентифицировать природу радиационных дефектов;

установить закономерности преобразования и исчезновения радиационных дефектов при фото- и термических воздействиях;

определить механизмы влияния примесей Eu, Ce, W и Tl на радиационные процессы.

Объектом исследования являются нелегированные и легированные кристаллы MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I).

Предметом исследования являются радиационно-стимулированные явления в нелегированных и легированных кристаллах MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I).

Методы исследования: для измерения спектров оптического поглощения и фотолюминесценции кристаллов использовались спектрофотометры Specord UV-VIS фирмы «Карл-Цейсс» (Германия), LAMBDA 35 фирмы «Perkin Elmer» (США), MPF-2A фирмы «Хитачи» (Япония); спектры рентгено- и гамма-люминесценции образцов снимались на установке, собранной на базе монохроматра МСД-2; регистрация люминесценции производилась фотоумножителем ФЭУ-39 на выходе; источником рентгеновского излучения являлась установка РУП-120; для снятия гамма-люминесценции использованы гамма лучи источника ^{60}Co ; измерения спектров катодолюминесценции производились на установке, разработанной на основе электроннолучевой трубки телевизора; для снятия кривых термической люминесценции кристаллов специально сконструирована электрическая печь, снабженная термопарой; кинетика

распада послесвечения облученных образцов определялась методом вращательных дисков.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

показано, что полоса люминесценции с максимумом в 300–340 нм в кристаллах BaFI обусловлена свечением автолокализованного экситона (АЛЭ) в виде $(V_k + e^-)$, определена энергии активации подвижности АЛЭ;

выявлено, что при облучении ионизирующими излучениями кристаллов SrFCl и BaFI создаются радиационные дефекты, процесс накопления которых при наборе доз проходит в два этапа;

идентифицирована природа полос поглощения радиационных структурных дефектов типа $\alpha(F^-)$ -, $\alpha(X^-)$ -, $F(F^-)$ -, $F(X^-)$ -, F_i^0 -, X_i^0 - центров в кристаллах BaFI и SrFCl, создаваемых в процессе облучения γ - лучами;

установлено, что в кристаллах класса MeFX с увеличением параметра кристаллической решетки уменьшается их радиационная стойкость;

спектроскопическими исследованиями определено, что примеси Eu и Ce входят в структуру кристаллов MeFX только в одном структурном положении, при этом ионы Eu входят в двухвалентном, а примеси Ce – в трехвалентном состояниях;

установлено, что введение примеси Tl в структуру кристалла BaFI приводит к возникновению в спектре ОП (оптического поглощения) полос с максимумами при 210, 240 и 290 нм, которые обусловлены поглощением ионов Tl^{2+} ;

определены механизмы рекомбинационной люминесценции собственных структурных дефектов и активаторных центров при возбуждении электромагнитными излучениями (гамма- и рентгеновскими лучами) и заряженными частицами (электронами) для легированных кристаллов класса MeFX.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

идентифицирована природа и установлены спектральные области проявления, области температурной стабильности различных радиационно-наведенных структурных дефектов в некоторых кристаллах класса MeFX: SrFCl, BaFCl и BaFI;

выявлены закономерности создания и преобразования радиационных дефектов и протекания радиационно-стимулированных явлений в кристаллах класса MeFX;

определены закономерности влияния легирующих примесей на радиационно-стимулированные процессы, которые позволяют целенаправленно управлять радиационными характеристиками кристаллов.

Достоверность результатов исследования обуславливается корректностью и физической обоснованностью поставленных задач, использованием хорошо апробированных современных абсорбционных, люминесцентных, термо- и фотоактивационных методов исследования радиационных процессов в широкозонных оптических материалах, большим объемом экспериментальных результатов с достаточной статистикой и их согласованностью с фундаментальными законами и

основными положениями физики конденсированного состояния, непротиворечивостью полученных результатов и выводов с результатами других авторов.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов заключается в идентификации радиационно-наведенных собственных и примесных дефектных центров, обусловленных наличием ионов E_c , Se , W и Tl в структуре кристаллов класса $MeFX$, что позволяет сформулировать более полную картину радиационного дефектообразования и закономерностей создания, преобразования и отжига радиационно-стимулированных дефектов в этом классе кристаллов.

Практическое значение результатов заключается в возможности регулирования радиационной стойкостью кристаллов и целенаправленного управления свойствами изделий, разработанных на основе кристаллов класса $MeFX$.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов по исследованию радиационных процессов в кристаллах класса $MeFX$:

установленный двухэтапный характер накопления радиационных дефектов в кристаллах $SrFCl$ и $BaFI$ при облучении ионизирующими излучениями, где первый этап характеризуется захватом зарядов на дорадиационных дефектах, а на втором этапе дефекты создаются при безызлучательном распаде автолокализованных экситонов, был использован в рамках фундаментального проекта ОТ-Ф2-081 «Изучение закономерностей дефектообразования в монокристаллическом кремнии с примесно-дефектными ассоциатами и динамических процессов формирования скрытых границ раздела полупроводник- диэлектрик» (2007-2011) при описании теоретических и экспериментальных результатов (Письмо Министерства высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан № 89-03-2223 от 6 июня 2018 г.). Применение результатов позволило определить механизмы дефектообразования в полупроводниковых структурах;

метод определения энергии активации автолокализованных экситонов в кристаллах $BaFCl$ и $BaFI$ был применен в рамках фундаментального проекта ОТ-Ф2-081 «Изучение закономерностей дефектообразования в монокристаллическом кремнии с примесно-дефектными ассоциатами и динамических процессов формирования скрытых границ раздела полупроводник- диэлектрик» (2007-2011) для вычисления энергии активации отжига радиационных дефектов в кремниевых структурах (Письмо Министерства высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан № 89-03-2223 от 6 июня 2018 г.). Применение результатов позволило определить характер превращений радиационных дефектов и изучить фотоэлектрические явления, протекающие под действием радиации, в легированных кристаллах кремния и кремневых диодных структурах.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования докладывались и обсуждались на 3 Международных и 3 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, 5 научных статей из них 3 в международных научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 121 страницы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, изложено современное состояние исследований в этом направлении, определены цели и задачи исследования, новизна и практическая ценность полученных результатов, приведены сведения об апробации работ, а также о структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Физико-химические характеристики и радиационно-стимулированные явления кристаллов MeFX»** приводится обзор литературных данных о кристаллической и зонной структурах кристаллов MeFX, а также результаты исследований о спектральных и радиационно-стимулированных свойствах необлученных и облученных примесями Tl, W, Eu, Ce кристаллов. Описаны также сведения о применении кристаллов в качестве люминофоров для экранов рентгеновских установок. На основе анализа литературных данных, определены цель и задачи исследования.

Вторая глава диссертации **«Объекты исследования и методика экспериментов»** посвящена технологии получения объектов исследования, а также методике и технике экспериментов. Исследованные в данной работе номинально чистые и легированные примесями Tl, W, Eu, Ce MeFX кристаллы были синтезированы в ВНИСИМС (г.Александров, Россия) гидротермальным способом в 20% растворителе KOH. В качестве шихты использовались SrF₂, BaF₂ и BaI₂ марки «Ч». Давление в автоклаве составляло 300 атм. Температура растворения 563К, температура кристаллизации 483К. Концентрация примесей по шихте составила 0,02–5моль%. Содержание примесей в образцах контролировалось спектроэмиссионным способом.

Образцы для исследования оптического поглощения изготавливались из выращенных кристаллов путем скалывания по плоскости спайности, перпендикулярно кристаллографической оси C, в виде пластинок толщиной 0,4–2,4 мм.

Спектры оптического поглощения снимались при комнатной температуре на спектрофотометрах Specord-M40 и Specord UV-VIS фирмы «Карл-Цейсс» (Германия).

Спектры фотолюминесценции кристаллов при комнатной температуре исследовались на спектрофлюориметре MPF-2A фирмы «Хитачи» (Япония).

Спектры рентгенолюминесценции снимались при температурах 77–480К на установке, собранной на базе монохроматора МСД-2. Регистрация люминесценции в интервале 200–800 нм выходе производилась фотоумножителем ФЭУ-39. Источником рентгеновского излучения была установка РУП-120 (120кВ, 5мА).

Спектры катодолюминесценции измерялись на специальной установке, разработанной на основе электроннолучевой трубки телевизора (напряжение трубки до 30кВ, а ток до 3мА). Измерения проводились при комнатной температуре.

Гаммалюминесценция кристаллов при температурах 77–300К исследовалась на установке, основным элементом которой являлся монохроматор МСД-1. Светопровод изготовлен из алюминиевой трубки, имеющей высокий коэффициент отражения (90%), слабозависящей от длины волны в исследуемом диапазоне спектра. К концу светопровода прикреплялся держатель для образца, при низкотемпературных измерениях который вместе с образцом помещался в сосуд Дьюара и охлаждался до 77 К.

Термолюминесценция кристаллов при температурах 77–480 К исследовалась с помощью специальной печи, которая была снабжена термопарой для измерения температуры. Скорость нагрева составляла 6–7 град/мин.

Определение кинетики послесвечения облученных образцов производилось методом вращательных дисков.

Для решения поставленных задач образцы облучались γ - лучами от источника ^{60}Co на гамма-установке Института ядерной физики АН РУз бассейнового типа при мощностях 200-1200 Р/с, дозами от 10^5 до 10^{10} рад. Кристаллы облучались при температурах жидкого азота (77 К) в стеклянном или пенопластовом сосудах Дьюара, или при температурах каналов (300-320 К) в алюминиевых фольгах.

В процессе фотообесцвечивания (ФО) облученных образцов исследовалось разрушение и превращение радиационно-наведенных центров окраски в исследуемых объектах. ФО производилось ртутной лампой с избирательной фотоподсветкой в области поглощения центров окраски с помощью светофильтров УФС-1, СС-9, ЖС-12, ОС-11, КС-13.

Термообесцвечивание γ - облученных образцов производилось в специальной печи со ступенчатым нагревом через каждые пятьдесят градусов. Образцы могли нагреваться до 600 К. Определенную фиксированную температуру выдерживали в течение 10 минут, затем она медленно спадала до комнатной температуры. При этом снимались спектры

дополнительного поглощения (ПДП). В измерениях спектров оптического поглощения (ОП) ошибка эксперимента не превышала 10%.

В третьей главе «Радиационные дефекты в кристаллах MeFX», приведены основные результаты исследования радиационного дефектообразования в нелегированных кристаллах MeFX. Показано, что во всех исследованных нами кристаллах под действием γ -облучения происходит процесс радиационного дефектообразования. На рис.1 и 2 приведены характерные спектры поглощения структурных дефектов для кристаллов BaFI и SrFCl. Установлено, что в кристаллах создаются два типа α -центров, два типа F-центров, два типа H-центров и два типа I-центров. Это обусловлено наличием в структуре кристаллов данного класса двух типов анионных узлов, отличающихся друг от друга (рис.3).

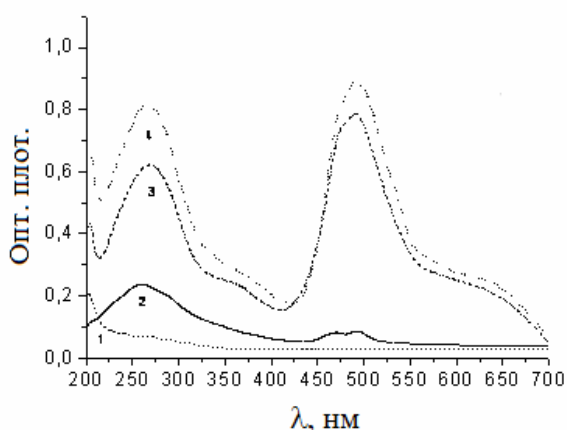


Рис.1. Спектры оптического поглощения исходного(1) и облученного дозами гамма-излучения: 10^6 рад (2), 10^7 рад (3), и 10^8 рад (4) кристалла BaFI

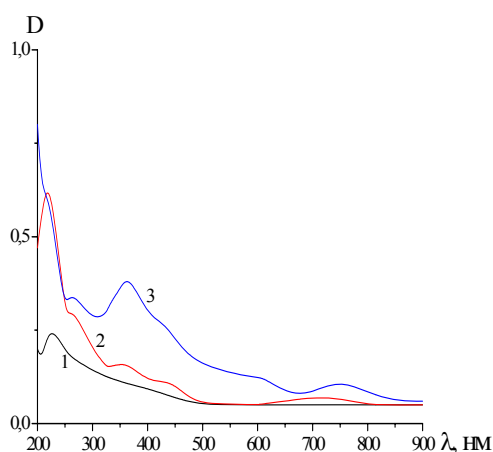


Рис. 2. Спектры поглощения γ -облученных кристаллов SrFCl: 1-исходного, облученного дозой 10^5 , 10^6 , 10^7 , 10^8 и $5 \cdot 10^8$ рад; 2- облученного дозой 10^9 Рад; 3 - облученного дозой 10^{10} рад

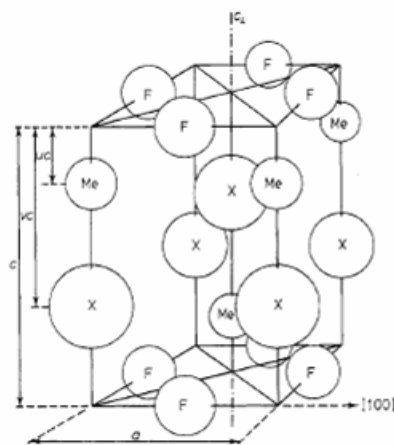


Рис. 3. Элементарная ячейка для соединений типа MeFX

Процесс накопления радиационных дефектов при наборе доз облучения обуславливается в кристаллах двумя этапами (рис.4). Первый этап связан с захватом зарядов на дорадиационных дефектах.

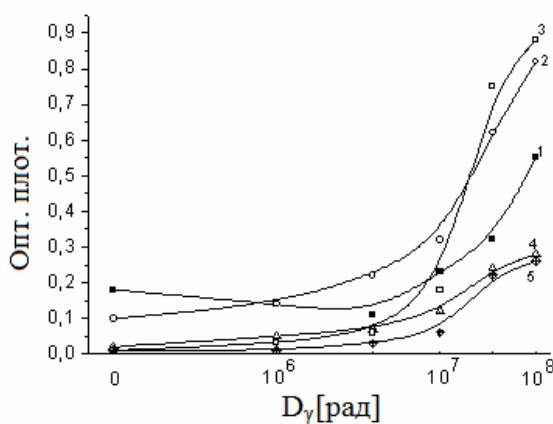


Рис. 4. Дозовые зависимости изменения оптической плотности в максимумах полос поглощения при: 205нм (1), 480 нм (2), 270 нм (3), 370 нм (4) и 610 нм (5) в кристаллах ВаFI

На данном этапе свободные электроны, образующиеся γ - лучами, захватываются на ростовых анионных вакансиях (α - центрах), преобразуя их в F- центры. Дырочные партнеры F- центров, образующихся на первом этапе дефектообразования, до конца еще не установлены. Хотя во всех исследованных образцах имеются дорадиационные α - центры, в кристаллах SrFCl не наблюдается первый этап накопления дефектов (рис.2). Из этого факта сделан вывод о том, что только наличия α - центров недостаточно для их преобразования в F- центры. Для этого необходимо наличие дефектов, на которых захватываются дырки. Предполагаем, что в кристаллах ВаFCl и ВаFI, в отличие от SrFCl, имеются определенные дорадиационные (возможно примесные) дефектные состояния, где захватываются дырки при облучении кристаллов ионизирующими излучениями.

На втором этапе радиационные дефекты создаются при безызлучательном распаде автолокализованных экситонов (АЛЭ). При этом, наряду с F- и α -центрами, создаются их генетические пары –H- и I-центры.

Применяя методы исследования дозовых (рис.2 и 4) и температурных (рис.5) зависимостей отдельных полос поглощений, а также метод фотопреобразования центров окраски при избирательной подсветке на максимумах их поглощения (рис.6) нами было установлено, что полоса при 205 нм в γ -облученном кристалле *BaFI* обусловлена поглощением $\alpha(F^-)$ -центров, ПП 230 нм – $\alpha(I^-)$ -центров, ПП 270 нм – F_i^0 -центров, ПП 370 нм – I_i^0 -центров, дублетная полоса с максимумами в 470 и 485 нм – F(F^-)-центров и полоса 610 нм – поглощением F(I^-)-центров (табл.1).

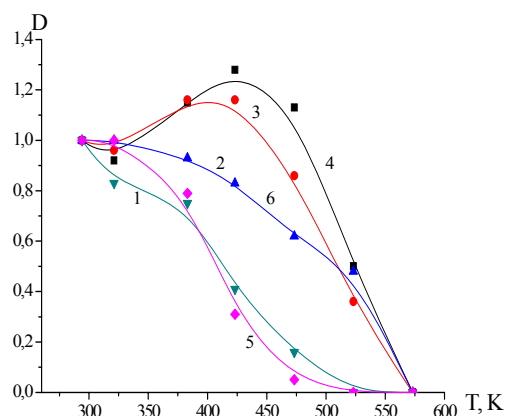


Рис. 5. Температурные зависимости изменения нормированной интенсивности наведенных полос поглощения кристалла *BaFI*, γ -облученного дозой 10^8 рад: для полос 610 нм (1); 480 нм (2); 230 нм (3); 205 нм (4); 370 нм (5); 270 нм (6)

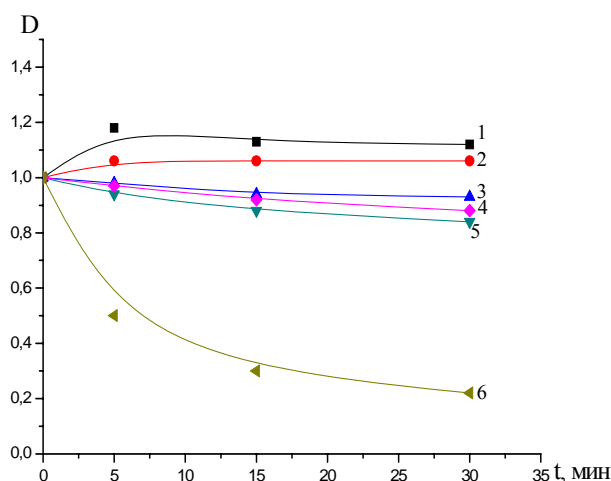


Рис. 6. Изменения нормированных интенсивностей полос поглощения γ -облученного дозой 10^8 рад кристалла *BaFI* под действием света с $\lambda > 620$ нм: для полос 205 нм(1); 230 нм (2); 270 нм (3); 480 нм (4); 370 нм (5) и 610 нм (6)

Аналогичными исследованиями нами показано, что полоса поглощения при 208 нм в облученных кристаллах *SrFCl* обусловлена $\alpha(F^-)$ -центрами,

ПП при 265 нм – F_i° -центрами, ПП при 330 нм – Cl_i° -центрами, ПП при 370 нм – поглощением $F(F^-)$ - центров, а полоса при 450 нм – поглощением $F(Cl^-)$ - центров. Природа полос поглощения с максимумами в 610 и 750 нм до конца еще не установлена. Возможно, что они связаны с более сложными радиационными центрами типа $M(F^-)$ - и $M(Cl^-)$ - центров (междоузельными дивакансиями фтора и хлора, захватившими электрон соответственно).

Ранее в работе [Нуриддинов И., Аташов Б.Т., Ким Ген Чан. Радиационное дефектообразование в кристаллах ВаFCl//Узбекский физический журнал. 1999. Т.1. № 4. С 283–288.] было установлено, что $F(Cl^-)$ - центры в кристаллах ВаFCl характеризуются полосой поглощения 570 нм, $F(F^-)$ - центры - полосой поглощения 450 нм, $\alpha(F^-)$ - и $\alpha(Cl^-)$ - центры поглощают свет в области 205 нм, F_i° - и Cl_i° - центры имеют поглощение при 240 и 335нм соответственно (таб. 1).

Таблица 1

Максимумы полос поглощений радиационных дефектов в кристаллах MeFX, в нм

MeFX	$\alpha(F^-)$	$\alpha(Cl^-)$	$\alpha(\Gamma)$	$F(F^-)$	$F(Cl^-)$	$F(\Gamma)$	F_i°	Cl_i°	I_i°
SrFCl	208	~208		370	450		265	330	
ВаFCl[по Аташов]	205	~205		450	570		240	335	
ВаFI	205		230	480		610	270		370

Определены предельные дозы радиационной стойкости кристаллов, наблюдаемые как начало радиационного создания структурных дефектов, которые уменьшаются с увеличением параметров решеток кристаллов класса MeFX. Среди кристаллов класса MeFX самыми стойкими к воздействию радиации являются кристаллы SrFCl, где радиационные дефекты создаются, начиная с дозы γ - облучения больше, чем 5×10^8 рад. Следующим по стойкости является кристалл ВаFCl, где радиационное создание дефектов наблюдается при дозах 10^7 рад. Создание радиационных дефектов в кристаллах ВаFI начинается с дозы 5×10^6 рад (таб.2).

Таблица 2

Параметры кристаллической решетки и предельные дозы радиационной стойкости кристаллов класса MeFX

Кристаллы, MeFX	Параметры элементарной решетки		Предельные дозы радиационной стойкости, Рад
	a, Å	c, Å	
SrFCl	4.126	6.958	5×10^8
ВаFCl	4.394	7.225	10^7 [по Аташов]
ВаFI	4.654	7.962	5×10^6

В четвертой главе «Влияние примесей на создание и преобразование радиационных дефектов в кристаллах ВаFІ» излагаются результаты исследования по влиянию примесей Eu, W и Tl на создание, термо- и фотостабильность радиационных дефектных центров в кристаллах ВаFІ.

Легирование кристаллов MeFX примесями Eu и W не приводит к значительным изменениям спектров ОП до и после облучения различными дозами γ - лучей по сравнению с нелегированными кристаллами. В спектрах оптического поглощения облученных нелегированных и легированных примесями Eu и W кристаллов ВаFІ наводятся одинаковые полосы поглощения (ПП) сравнимой интенсивности с максимумами при 205, 230, 270, 370, 480 и 610 нм, обусловленные поглощением $\alpha(F^-)$ -, $\alpha(\Gamma)$ -, F_i^0 -, I_i^0 -, $F(F^-)$ -, $F(\Gamma)$ - центров, что свидетельствует о том, что облучение γ - лучами кристаллов ВаFІ не приводит к изменению зарядового состояния примесей Eu и W и сами примеси непосредственно не участвуют в радиационном дефектообразовании. Эти примеси также не оказывают существенного влияния на термо- и фотостабильность радиационных дефектов.

Введение примеси таллия в структуру кристалла ВаFІ приводит к возникновению в спектре ОП полос с максимумами при 210, 240 и 290 нм, которые обусловлены поглощением ионов Tl^{2+} (рис.7, кривая 1). Под действием облучения ионы Tl^{2+} , захватывая электроны, переходят в состояние Tl^+ , обуславливая появление в спектре полос при 208 и 390 нм (рис.7, кривая 2). При низких дозах облучения (до дозы 5×10^6 рад), когда в нелегированных образцах из-за захвата электронов на дорадиационных $\alpha(F^-)$ - центрах происходит образование $F(F^-)$ - центров, в кристаллах ВаFІ:Tl, в основном, происходит захват электронов ионами Tl^{2+} , что приводит к увеличению интенсивности полосы поглощения 208 нм, обусловленной ионами Tl^+ . В кристалле ВаFІ:Tl идет конкуренция за захват электронов между $\alpha(F^-)$ - центрами и ионами Tl^{2+} . Из-за того, что сечение захвата электронов на ионах Tl^{2+} существенно больше, чем сечения $\alpha(F^-)$ - центров, электроны в основном захватываются на Tl^{2+} ионах. По этой причине не происходит уменьшения интенсивности полосы поглощения 205 нм и увеличения интенсивности полосы $F(F^-)$ - центров, но наблюдается рост интенсивности полосы в районе 210 нм.

При облучении кристаллов большими дозами ($D > 10^7$ рад) гамма-лучей, в результате безызлучательного распада электронных возбуждений, как в нелегированных, так и в легированных образцах происходит радиационное создание $\alpha(F^-)$ - $I(F^-)$ пар. При одинаковых дозах (10^8 рад) γ - облучения введение примеси Tl^{2+} в структуру кристалла ВаFІ приводит к уменьшению интенсивности поглощения $F(F^-)$ - центров в 9 раз, а интенсивности поглощения $F(\Gamma)$ - центров в 4 раза по сравнению с поглощением этих центров в нелегированных кристаллах. Однако, в этом случае в обоих образцах создаются полосы поглощения F_i^0 - центров приблизительно с одинаковой интенсивности.

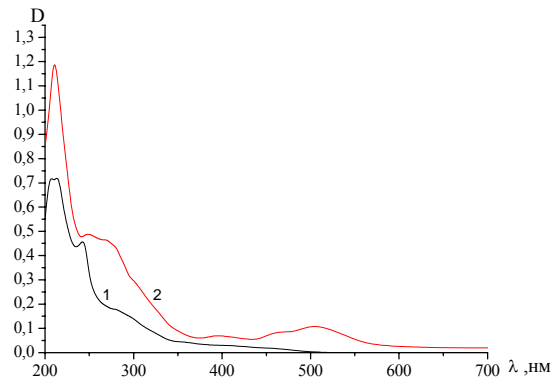


Рис. 7. Спектры оптического поглощения необлученного (1) и γ -облученного дозой $4,8 \cdot 10^8$ рад (2) кристаллов BaFI:Tl

Данное явление объясняется тем, что из-за большого сечения захвата электронов на ионах Tl^{2+} , основное количество электронов захватывается на этих ионах, переводя их в состояние Tl^+ , а незначительное число электронов захватывается на $\alpha(F^-)$ -центрах с образованием $F(F^-)$ -центров. В результате, в кристаллах, легированных ионами Tl, наблюдается меньшее по сравнению с нелегированными образцами количество $F(F^-)$ -центров. В обоих образцах дырки с одинаковой вероятностью захватываются на $I(F^-)$ -центрах с образованием F_i^0 -центров, которые поглощают свет в области полосы 270 нм. Поэтому в обоих образцах наблюдается сравнимая интенсивность полосы 270 нм (см. рис.1 и 7).

Введение примеси Tl^{2+} существенно влияет также на термическую и фотостабильность радиационных дефектных центров, что объясняется захватом большого количества зарядов на примесных центрах и отличием по сравнению с собственными радиационными центрами энергий освобождения зарядов из этих центров.

В пятой главе «**Люминесцентные свойства кристаллов BaFCl и BaFI**» приведены результаты изучения люминесцентных характеристик исследуемых объектов.

На основе исследования различных характеристик рекомбинационной люминесценции кристаллов установлено, что полоса свечения с максимумом в 300–340 нм для кристаллов BaFI, и 360–365 нм для кристаллов BaFCl обусловлена свечением АЛЭ в виде (V_k+e^-) (рис.8). Определены энергии активации подвижности АЛЭ, которые соответствуют энергиям активации процессов тушения свечения АЛЭ: $E_T=0.24$ эВ для BaFCl и $E_T=0.20$ эВ для BaFI.

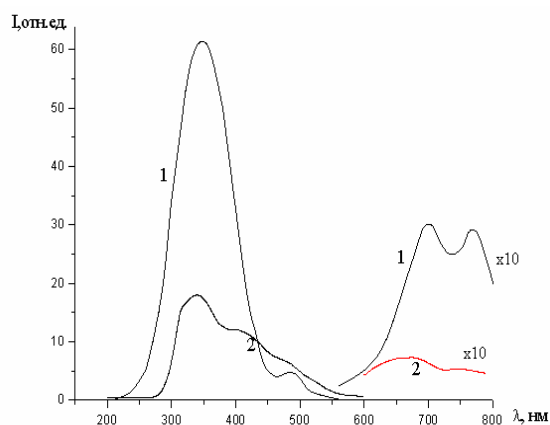


Рис. 8. Спектры РЛ нелегированных кристаллов ВаFCl (1) и ВаFI (2) при 300 К

Сильное уменьшение интенсивности свечения и АЛЭ, и введенных активаторов при дозах γ - облучения $D_\gamma > 5 \times 10^6 - 10^7$ рад, когда наблюдается эффективное создание радиационных дефектов типа F- и V- центров в кристаллах ВаFCl и ВаFI, свидетельствует о том, что активаторное свечение в кристаллах возбуждается путем передачи энергии от АЛЭ к активаторным ионам. Тот факт, что дозовая зависимость изменения интенсивностей свечения АЛЭ и активаторов (рис.9) обратно пропорциональна дозовой зависимости изменения количества радиационных структурных дефектов в кристаллах (см. рис.3), указывает на безызлучательный распад АЛЭ на структурные дефекты.

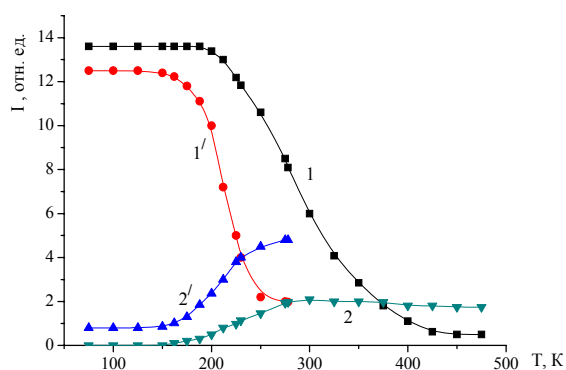


Рис. 9. Температурные зависимости интенсивности РЛ для нелегированных кристаллов ВаFCl (1,2) и ВаFI (1',2') на максимумах свечения в области 360–365 нм (1), 300–340 нм (1'), 700–770 нм (2) и 640–700 нм (2')

При введении в структуру кристаллов MeFX примесей Eu активаторная люминесценция состоит из одной элементарной симметричной полосы. Например, в спектрах люминесценции кристаллов ВаFCl обнаруживается свечение с максимумом в ~ 395 нм и полушириной 20 нм, а в случае кристаллов ВаFI - наблюдается свечение с максимумом в ~ 390 нм и

полушириной 20 нм. Люминесценция обусловлена электронными переходами $4f^65d^1 \rightarrow 4f^7$ ($^8S_{7/2}$) ионов Eu^{2+} . В случае введения в кристаллы примеси Се в спектре люминесценции обнаруживается дублетная полоса: с максимумами в 310 и 325 нм в кристаллах BaFCl , и при 305 и 320 нм в кристаллах BaFI . Люминесценция обусловлена $5d \rightarrow 4f(^2F_{7/2})$ - и $5d \rightarrow 4f(^2F_{5/2})$ электронными переходами ионов Ce^{3+} . Полуширина полос в обоих кристаллах составляет ~ 55 нм. Положения максимумов и полуширины полос не изменяются при изменении концентрации примесей и дозы облучения кристаллов. Эти результаты свидетельствуют о наличии только одного типа кристаллографического состояния активаторов в решетке кристаллов MeFX .

Обнаружено двухстадийное уменьшение интенсивности ГЛ (гаммалюминесценции) и РЛ (рентгенолюминесценции) собственного и активаторного свечений кристаллов MeFX в процессе набора дозы облучения. По своему виду график зависимости изменения интенсивности люминесценции от дозы облучения указывает на обратную тенденцию дозовой зависимости процесса накопления радиационных дефектов: при наборе доз, когда увеличивается количество радиационных дефектов, происходит уменьшение интенсивности люминесценции. Исходя из того, что на первой стадии накопления центров окраски радиационные структурные дефекты не создаются, а накопление центров окраски обусловлено захватом зарядов на доррадиационных дефектах, сделано заключение, что первая стадия процесса тушения люминесценции обусловлена реабсорбцией ГЛ или РЛ на центрах окраски, создаваемых на доррадиационных дефектах структуры. Так как на второй стадии происходит радиационное создание структурных дефектов, подвижные свободные экситоны до автолокализации могут захватываться (или распадаться) на этих дефектах. Вероятность образования автолокализованных экситонов уменьшается, что приводит к уменьшению передачи энергии от АЛЭ к активаторным центрам при их возбуждении. При больших содержаниях структурных дефектов в кристаллах флуктуации потенциала кристаллического поля создают внутренние деформационные поля, на которых подвижные АЛЭ могут гибнуть, что также приводит к уменьшению энергии АЛЭ, передаваемых на возбуждение люминесценции активаторных ионов. Исходя из этого, вторую стадию уменьшения интенсивности ГЛ или РЛ в дозовой зависимости можно объяснить рассеянием энергии АЛЭ на структурных дефектах.

В активированных примесями кристаллах при возбуждении γ - или рентгеновскими лучами интенсивность свечения АЛЭ уменьшается, а при достижении определенных концентраций примеси свечение исчезает полностью. В спектрах появляются сравнительно интенсивные полосы люминесценции, обусловленные примесями, возбуждаемыми посредством передачи энергии подвижных АЛЭ к этим примесям (рис.10, кривая 2). В отличие от этого, в спектрах КЛ (катодолюминесценции) легированных образцов интенсивности активаторных люминесценций сильно подавляются

и обнаруживается довольно интенсивное свечение АЛЭ (рис.10, кривая 3). Наблюдаемое явление обусловлено различным механизмом взаимодействия электромагнитных излучений (рентгеновских или гамма лучей) и заряженных частиц (электронов) с веществом.

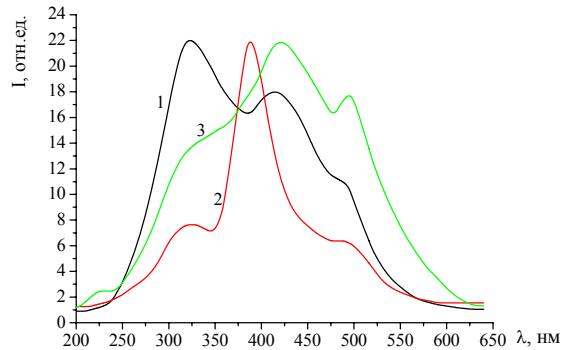


Рис. 10. Спектры рентгенолюминесценции (1, 2) и катодолюминесценции (3) нелегированного (1) и легированного Eu^{2+} (2, 3) кристаллов ВаF1 при комнатной температуре

Облучение образцов электронами приводит в основном к ионизации атомов (или ионов) и возбуждению электронов вещества, в процессе которых происходят потери энергии падающих электронов. В результате кулоновского взаимодействия с электронами атомов вещества уменьшается энергия падающих электронов и после прохождения расстояния R_{max} , называемого «максимальным пробегом», электроны останавливаются. Для кэВ ных электронов, которые обычно применяются в экспериментах для возбуждения катодолюминесценции, в различных веществах R_{max} составляет порядка нескольких микронов.

Если в объеме кристалла V имеются два разных центра свечения, которые взаимно не взаимодействуют, интенсивность люминесценции определяется по выражению:

$$I = \tau_{1\text{изл}}^{-1} N_{1\text{воз}} + \tau_{2\text{изл}}^{-1} N_{2\text{воз}},$$

где $\tau_{1\text{изл}}^{-1}$ и $\tau_{2\text{изл}}^{-1}$ – скорость излучательного перехода первого и второго центров, а $N_{1\text{воз}}$ и $N_{2\text{воз}}$ – количество возбужденных центров первого и второго типов соответственно.

В случае катодолюминесценции электроны взаимодействуют с атомами вещества в тонком приповерхностном объеме $V = SR_{\text{max}}$, где число $N_{1\text{возб}}$ собственных возбужденных атомов вещества на несколько порядков больше, по сравнению с числом $N_{2\text{возб}}$ возбужденных активаторных атомов, т.е. $N_{1\text{возб}} \gg N_{2\text{возб}}$, выражение для определения интенсивности люминесценции принимает вид:

$$I = \tau_{изл}^{-1} N_{1возб}.$$

откуда видно, что при небольших концентрациях активаторов в КЛ в основном наблюдается свечение собственных центров (т.е. свечение АЛЭ), что и наблюдается в экспериментах.

Хотя гамма кванты в веществе, так же как заряженные частицы, поглощаются в основном за счет электромагнитных взаимодействий, механизм этого поглощения существенно иной. Это обусловлено двумя причинами : во-первых, гамма кванты не имеют электрического заряда и не подвержены влиянию далекодействующих кулоновских сил. Поэтому они при прохождении через вещество сравнительно редко сталкиваются с электронами и ядрами, но зато при столкновениях, как правило, редко отклоняются от своего пути, т.е. практически не выбиваются из пучка. Во-вторых, они обладают нулевой массой покоя и, следовательно, не могут иметь скорость, отличную от скорости света. Поэтому они в среде не могут замедляться. Они либо поглощаются, либо рассеиваются. Для гамма квантов не существует таких понятий как пробег и потеря энергии на единицу длины. Их энергия в веществе не изменяется, однако интенсивность гамма квантов ослабляется. Хотя ионизационная способность гамма квантов при прохождении через вещество примерно такая же, как и у заряженных частиц, их проникающая способность очень велика. Поэтому, если при облучении заряженными частицами ионизируется тонкий приповерхностный слой вещества, то при облучении гамма квантами – вся толщина вещества. Поэтому при ГЛ и РЛ возбуждается весь объем облучаемого вещества и соотношение количества возбужденных собственных центров свечения на количество возбужденных активаторных центров сохраняется примерно одинаково. По этой причине в спектрах люминесценции наблюдаются и свечение собственных центров, и активаторных центров. Из-за того, что с увеличением концентрации активатора вероятность передачи энергии АЛЭ (основы) к активаторам увеличивается, при концентрации активатора (например, для ионов Eu^{2+} при концентрации ≥ 5 ат.%) в спектрах ГЛ и РЛ наблюдается только активаторное свечение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе полученных результатов исследования, проведенного по теме диссертации доктора философии (PhD) «Радиационные явления в кристаллах MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I)», представлены следующие выводы:

1. Впервые доказано, что рекомбинационная люминесценция с максимумом в 300–340 нм, возбуждаемая в кристаллах BaFI, обусловлена свечением АЛЭ (автолокализованный экситон) в виде (V_k+e^-) , определена энергии активации подвижности АЛЭ как $E_T=0.20$ эВ.

2. Для кристаллов SrFCl и BaFI впервые показано, что радиационные дефекты создаются в процессе безызлучательного распада АЛЭ. В этом процессе в структуре кристаллов создаются два типа α - центров, два типа F- центров, два типа H-центров и два типа I- центров, которые обусловлены наличием в структуре кристаллов двух типов анионных узлов, отличающихся друг от друга. Доказано, что процесс накопления радиационных дефектов с увеличением дозы облучения обуславливается двумя этапами: первый этап характеризуется захватом зарядов на дорадиационных дефектах, т.е. электроны захватываются на ростовых анионных вакансиях (на α - центрах), преобразуя их в F- центры; на втором этапе радиационные дефектные центры создаются при безызлучательном распаде автолокализованных экситонов. На втором этапе наряду с F- и α - центрами создаются их генетические пары – H- и I- центры соответственно.

3. Впервые установлено, что полоса при 205 нм, создаваемая в γ -облученных кристаллах BaFI, обусловлена поглощением $\alpha(F^-)$ - центров (вакансий ионов фтора), ПП при 230 нм – поглощением $\alpha(I^-)$ - центров (вакансий ионов йода), ПП при 270 нм – поглощением F_i^0 - центров (межузельных атомов фтора), ПП при 370 нм – поглощением I_i^0 - центров (межузельных атомов йода), дублетная полоса с максимумами в 470 и 485 нм – поглощением $F(F^-)$ - центров (вакансий фтора, захвативших электрон) и полоса при 610 нм – поглощением $F(I^-)$ - центров (вакансий йода, захвативших электрон).

4. Впервые идентифицированы природа радиационно-наведенных полос поглощения в кристаллах SrFCl. Установлено, что ПП 208 нм в облученных кристаллах SrFCl обусловлена $\alpha(F^-)$ - центрами, ПП 265 нм – F_i^0 - центрами, ПП 330 нм – Cl_i^0 - центрами, ПП 370 нм – $F(F^-)$ - центрами, ПП 450 нм – $F(Cl^-)$ - центрами.

5. Показано, что радиационная стойкость кристаллов уменьшается с увеличением параметра кристаллической ячейки кристаллов класса MeFX. Среди кристаллов класса MeFX самым стойким к воздействию радиации является кристалл SrFCl, где радиационные дефекты создаются, начиная с дозы γ - облучения выше, чем 5×10^8 рад. Следующим по стойкости является

кристалл BaFCl, где радиационное создание дефектов наблюдается при дозах 10^7 рад. Создание радиационных дефектов в кристаллах BaFCl начинается с дозы 5×10^6 рад.

6. Спектроскопическими исследованиями доказано, что ионы Eu в структуру кристаллов MeFX входят в двухвалентном, а ионы Ce – в трехвалентном состояниях. Наличие только одной полосы люминесценции в кристаллах, активированных европием, наличие только одной дублетной полосы люминесценции в кристаллах, легированных примесью церия, показывает, что в кристаллах MeFX для активаторов имеется только одно кристаллографическое состояние

7. Показано, что легирование кристаллов MeFX примесями Eu и W не приводит к значительным изменениям спектров ОП по сравнению с нелегированными кристаллами ни до и ни после облучения различными дозами γ - лучей. В спектрах оптического поглощения облученных нелегированных и легированных примесями Eu и W кристаллов BaFCl наводятся одинаковые полосы поглощения с максимумами при 205, 230, 270, 370, 480 и 610 нм сравнимой интенсивности, обусловленными поглощением $\alpha(F^-)$ -, $\alpha(\Gamma)$ -, F_i^0 -, I_i^0 -, $F(F^-)$ -, $F(\Gamma)$ - центров, что свидетельствует, о том что при облучении γ - лучами примеси Eu и W не изменяют свои зарядовые состояния и непосредственно не участвуют в радиационном дефектообразовании в кристаллах BaFCl. Эти примеси также не влияют на термическую и фотостабильность радиационных дефектов.

8. Впервые показано, что при введении в кристаллы BaFCl примеси Tl в спектрах ОП образуются ПП с максимумами в 210, 240 и 290 нм, обусловленными поглощением ионов Tl^{2+} . Установлено, что под действием облучения ионы Tl^{2+} , захватывая электроны, переходят в состояние Tl^+ , что приводит к созданию в спектре ПП с максимумами при 208 и 390 нм.

9. В отличие от ГЛ и РЛ, в спектрах КЛ кристаллов BaFCl и BaFCl интенсивности активаторного излучения сильно уменьшаются и наблюдается довольно интенсивная люминесценция АЛЭ, которая объясняется следующим образом: в случае катодолуминесценции электроны взаимодействуют с атомами вещества в тонком приповерхностном объеме V , где число собственных атомов вещества на несколько порядков больше, чем число активаторных атомов. При облучении γ - лучами возбуждается весь объем облучаемого вещества и соотношение количества возбужденных собственных центров свечения на количество возбужденных активаторных центров сохраняется примерно одинаковым во всем объеме. По этой причине в спектрах ГЛ и РЛ наблюдаются свечение и собственных центров, и активаторных центров. Из-за того, что с увеличением концентрации активатора вероятность передачи энергии от основы к активаторам увеличивается, при

определенных значениях концентрации активатора в спектрах ГЛ и РЛ наблюдается только активаторное свечение.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSC.27.06.2017.FM/T.33.01 ON AWARD OF
SCIENTIFIC DEGREES AT THE INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS,
ASTRONOMICAL INSTITUTE, NATIONAL UNIVERSITY OF
UZBEKISTAN**

INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS

UTENIYAZOVA AYSARA BEGMURATOVNA

**RADIATION PHENOMENA IN
MeFX (Me-Sr,Ba; X-Cl,I) CRYSTALS**

01.04.07 – condensed matter physics

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

Tashkent – 2018

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.B2017.3.PhD/FM119.

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 and on the website of “Ziyonet” informational and educational portal at www.ziyonet.uz.

Scientific consultant:

Nuritdinov Izzatillo

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher

Official opponents:

Ibragimova Elvira Memetovna,

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,

Ramazanov Asror Khamraevich

Doctor of Philosophy (PhD) in Physics and Mathematics

Leading organization:

I.A. Karimov Tashkent State Technical University

The defense of the dissertation will be held on “___” _____ 2018, at ___ at the meeting of the Scientific Council No. DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 at the Institute of Nuclear Physics, Astronomical Institute, National University of Uzbekistan (Address: INP, Ulugbek settlement, 100124 Tashkent city. tel. (+99871) 289-31-60, fax (+99871) 289-31-18; e-mail: 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 “_____” _____ 2018.
(Registry record No. ____ dated “___” _____ 2018.)

M.Yu. Tashmetov

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

R. Yarmukhamedov

Scientific Secretary of the Scientific Council
on Award of Scientific Degrees,
D.Ph.-M.S., Professor

S.N. Nuritdinov

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. At present, throughout the world, one of the fundamental problems that draw much of attention to solve these problems is to develop fundamental foundations for manufacturing various types of detectors for nuclear and ionizing radiation detection and measurement. Among many methods of ionizing radiation detection, the scintillation method has developed greatly due to a number of its advantages in recording and spectrometry of ionizing radiation, like: high registration efficiency, considerable loading capacity and, respectively, sufficiently high temporal and energy resolution, as well as convenience and ease of operation. In this regard, great progress has been made in creation and use of detectors based on fluorides of alkaline-earth elements, among which the MeFX crystals (Me-Sr, Ba; X-Cl, I) activated by various impurities are of special importance.

Activated MeFX crystals can store a part of the absorbed energy in the form of metastable centers. In these materials, the image created by X-ray radiation remains stable for a long period of time in the dark at room temperature, which is successfully used in creation of the X-ray storage screens (imaging plates). In medicine X-ray storage screens are used in diagnosis that leads to a significant reduction in the radiation exposure of patient. The dynamic range of the image formed on MeFX:Eu²⁺ crystal based storage screens exceeds by five orders of magnitude that of the image developed on traditional X-ray films. Among the MeFX:Eu²⁺ crystals, the BaFI:Eu²⁺ crystals as a phosphor for manufacturing X-ray memory screens has several advantages over other phosphors: high X-ray absorption coefficient, high degree of optical stimulation of luminescence, high detection of radiation, etc. In spite of significant progress made in information X-ray storage and reading, the mechanisms of these processes (i.e. processes of information storage and reading) have not yet been fully understood, which hinders improvements in productivity of phosphors of such type. The solution of this problem is directly related with comprehensive studies of radiation-stimulated processes taking place in such type of materials, which is one of the topical problems of condensed matter physics.

In the Republic of Uzbekistan great attention is paid to development of the fundamentals of making various types of detectors for nuclear and ionizing radiation registration and measurement, as well as to implementation of the basic research projects in this field on a global level. The fundamental research topics, which are of great importance for the progress of science and its further application in practice in our country, are reflected in the Strategy¹ for Further Development of the Republic of Uzbekistan for 2017-2021.

The research carried out in this dissertation fully conforms to the tasks stipulated in the Decrees of the President of the Republic of Uzbekistan UP-4947 “On Strategy of Actions for Further Development of the Republic of Uzbekistan

¹ Decree of the President of the Republic of Uzbekistan “On the Strategy for the Further Development of the Republic of Uzbekistan” No. 4947 of 07 February 2017

for 2017-2021” dated of 2 February 2017, UP-4958 “On further improvement of postgraduate education” dated of 16 February 2017, in the Resolutions of the President of the Republic of Uzbekistan PP-2789 “On measures for further improvement of activities of the Academy of Sciences, organization, management and financing of research” dated of 17 February 2017, as well as in legal and regulatory documents adopted in this field.

Relevance of the research to the priority areas of science and technology development of the Republic of Uzbekistan. The dissertation research was conducted in accordance with the priority direction of development of science and technology in the Republic of Uzbekistan: II. "Energy, energy and resource efficiency."

Degree of study the problem. Studies on the synthesis of crystal and electronic structures of MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I) crystals, spectroscopic characteristics and radiation processes in these materials, their use as scintillators and X-ray-storage phosphors were carried out by leading international scientists representing the international research centers, including American (R.C. Baetzold, D.J. Singh, A.L. Ruoff), Japanese (K. Takahashi, K. Kohida, K. Inabe, S. Nakamura, A. Ohnishi), German (E. Niclas, F. Fischer, S. Assmann, S. Schweizer), French (E. Decremps, M. Gauthier), Swiss (B.W. Liebich, D. Nicollin), Indian (K. Somaiah, V.Hari Babu, G. Gundiah, S.V. Upadeo, G. Kalapana), Chinese (M.Z. Su, X.P. Sun, W. Chen), Russian (A.A. Shalaev, E.A. Rajabov, R. Shendrik), Israeli (N. Kristianpoller, A. Shmilevich), Uzbek (I. Nuritdinov, B.T. Atashov) researchers and others.

As a result of these studies, it has been determined that there are two types of anionic sites in the structure of these crystals, therefore, upon irradiation, two types of anion vacancies ($\alpha(F^-)$ and $\alpha(X^-)$ centers) and two types of F-centers ($F(F^-)$ and $F(X^-)$ -centers) are formed. Among the MeFX crystals, characteristics of radiation defects are relatively thoroughly studied in BaFCl crystals. It is established that the phenomenon of X-ray image storage is directly related to formation and transformation of radiation defects. However, the nature of defects, mechanisms of radiation defects formation and X-ray image storage for other crystals of this type have not been fully studied, especially for SrFCl and BaFI crystals considered to be the most promising for these purposes.

Application of MeFX crystals is based on the luminescent properties of these materials, activated by Eu^{2+} , Sm^{2+} and Ce^{3+} ions. Despite the fact that the electronic transitions of the above activators for crystals excited by UV and visible light have been studied more or less in details, mechanisms of recombination luminescence of excitation, especially mechanisms of photostimulated luminescence (FSL), are not well studied, whereas the available data are contradictory.

Connection of dissertational research with the plans of scientific research works of the scientific research institution, where the dissertation was conducted. The dissertation work was carried out within the framework of research projects at the Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan on the following topics: F2-FA-F118 "Patterns of

radiation-stimulated phenomena in oxide and fluoride solid materials used as ionizing radiation detectors" (2012-2016); OT-F2-23 «Characteristics of generation and recombination processes in wide-gap oxide and fluoride solid materials» (2017-2020).

The aim of the research is to determine the regularities of radiation-stimulated phenomena, including the creation, accumulation and transformation of intrinsic and impurity radiation defects in undoped and doped MeFX (Me-Sr, Ba; X-Cl, I) crystals irradiated with ionizing radiation.

The tasks of the research:

- to investigate the dose dependences of radiation-induced centers formation;
- to study the thermal and photostability of radiation centers;
- clarify the mechanisms of photo-, thermo-, X-ray-, gamma- and cathode luminescence in undoped and doped crystals;
- to identify the nature of radiation defects;
- to establish regularities of transformation and destruction of radiation defects under thermal and photoexposures;
- to determine the mechanisms of the Eu, Ce, W and Tl impurities influence on radiation processes.

The objects of the research are undoped and doped MeFX crystals (Me-Sr, Ba; X-Cl, I).

The subjects of the research are radiation-stimulated phenomena in undoped and doped MeFX crystals (Me-Sr, Ba; X-Cl, I).

The methods of research. Optical absorption spectra were recorded by using Karl-Zeiss Specord UV-VIS spectrophotometers (Germany) and Perkin Elmer LAMBDA 35 (USA), Hitachi MPF-2A (Japan); the sample X-ray and gamma-luminescence spectra were taken by apparatus based on the MSD-2 monochromator; the source of X-ray radiation was the RUE-120 installation (120kV, 5mA); to record gamma luminescence, gamma-radiation from ^{60}Co source was used; measurements of the cathode luminescence spectra were made at room temperature on an apparatus based on a TV-tube of a television set .

The scientific novelty of the research is as follows:

it is shown, that luminescence band with maximum at 300–340 nm in BaFI crystals is conditioned by the radiation of the autolocalized exciton (ALE) in the form of (V_k+e^-) , and the ALE mobility activation energy is determined;

it is established, that under irradiation of the SrFCl and BaFI crystals with ionized radiation, the radiation defects are formed and accumulated at the dose accumulation in two stages;

the nature of the absorption bands of radiation defect types as $\alpha(\text{F}^-)$ -, $\alpha(\text{X}^-)$ -, $\text{F}(\text{F}^-)$ -, $\text{F}(\text{X}^-)$ -, F_i^0 -, X_i^0 -centers in BaFI and SrFCl crystals formed under irradiation with γ - rays is identified;

it is established that in the MeFX type crystals their radiation resistance decreases with the increase of crystal parameter;

it is determined in the spectroscopic studies that Eu and Ce impurities exist in the MeFX crystal structure only in one structural position, i.e. Eu ions – in two valent and Ce impurity – in three valent states;

it is established that Tl impurity introduced into the structure of BaFI crystal leads to formation of the bands with maxima at 210, 240 and 290 nm in the optical absorption (OA) spectrum, which are conditioned by Tl^{2+} ions absorption;

intrinsic structure defects and activator centers recombination luminescence mechanisms are determined for excitation by electromagnetic irradiation (gamma- and X-ray radiation) and charged particles (electrons) for the doped MeFX type crystals.

Practical results of the research consist of the following:

nature of radiation defects and spectral regions of their manifestation, temperature stability of various radiation-induced structural defects in certain MeFX: SrFCl, BaFCl and BaFI crystals have been identified and can be useful in developing theoretical models and approaches for explaining the mechanisms of radiation defect formation in MeFX crystals;

regularities in formation and transformation of radiation defects and evolution of radiation-stimulated phenomena in MeFX crystals are established, which allows us to develop a more complete picture of the course of radiation-stimulated processes in this class of materials;

regularities of doping impurities effect on radiation-stimulated processes that allow us to purposefully control radiation characteristics of crystals are determined.

The reliability of the research results is due to correctness and physical validity of the tasks posed, use of well-established modern absorption, luminescence, thermo- and photoactivation methods to study radiation processes in wide-band optical materials, a large amount of experimental results with sufficient statistics and their consistency with the fundamental laws and basic principles of condensed state physics, consistency of the results obtained and findings with the results of other authors obtained for other materials.

Scientific and practical significance of the research results. Scientific significance of the results obtained in this work is supported by the fact that they also include identification of radiation-induced intrinsic and impurity defect centers due to presence of Eu, Ce, W, and Tl ions in the structure of MeFX crystals, which allows us to formulate a more complete picture of the radiation defect formation, and regularities in formation, transformation and annealing of radiation-stimulated defects in this type of crystals.

Practical significance of the results obtained in the dissertation is that they make it possible to regulate radiation resistance of crystals and to purposefully manage the properties of products developed on the basis of the MeFX crystals.

Implementation of the research results. Based on the obtained results on the studies of radiation processes in crystals of MeFX type:

established two stage character of radiation defects accumulation in SrFCl and BaFI crystals at the irradiation by ionized radiation, where the first stage is characterized by charge capture on the pre-radiation defects, whereas on the second stage defects are formed as a result of the non-radiative decay of auto localized excitons, was used in the framework of the fundamental research project OT-F2-081 «Investigation of defects formation regularities in single crystal silicon with impurity – defect associates and hidden semiconductor- dielectric

interface formation dynamical processes» (2007-2011) for description of theoretical and experimental results (Letter from the Ministry of Higher and Specialized Secondary Education of the Republic of Uzbekistan № 89-03-2223 of 6 June 2018). Application of these results allowed determination of defects formation mechanisms in semiconductor structures;

method of auto localized excitons activation energy determination in BaFCl and BaFI crystals was used in the framework of the fundamental research project OT-F2-081 «Investigation of defects formation regularities in single crystal silicon with impurity – defect associates and hidden semiconductor- dielectric interface formation dynamical processes» (2007-2011) for calculation of radiation defects annealing activation energy in silicon structures (Letter from the Ministry of Higher and Specialized Secondary Education of the Republic of Uzbekistan № 89-03-2223 of 6 June 2018). Application of these results allowed determination of radiation defects transformation character and studying of photovoltaic phenomena under the influence of radiation in the doped silicon crystals and silicon diode structures.

Testing of the research results. The results of investigation were reported and discussed at 3 international and 3 republican scientific and practical conferences.

Publication of the research results. On the theme of the dissertation 13 scientific works were published, 5 scientific articles from them 3 in international scientific journals recommended by the Supreme Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publication of the main scientific results of doctoral dissertations.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, five chapters, conclusion and a bibliography. The volume of the dissertation is 121 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. Нуритдинов И., Аташов Б.Т., Утениязова А.Б., Турданов К. Дефектообразование в кристаллах ВаFІ при γ -облучении // Неорганические материалы. – Москва, 2011. -Т. 47, № 7.- С. 884–886 (№3. Scopus; IF=0,524).

2. Нуритдинов И., Аташов Б.Т., Утениязова А.Б. Спектры поглощения γ -облученных кристаллов ВаFІ при нагревании и фотообесцвечивании //Неорганические материалы. – Москва, 2011. - Т. 47, № 9. - С. 1143–1146. (№3. Scopus; IF=0,524).

3. Нуритдинов И., Аташов Б.Т., Утениязова А.Б. Влияние примесей на радиационное дефектообразование в кристаллах ВаFІ // Неорганические материалы, – Москва , 2014.- Т. 50, № 5.- С. 568–571. (№3. Scopus; IF=0,524).

4. Ашуров М.Х., Нуритдинов И., Б.Т.Аташов., А.Б.Утениязова. О механизмах радиационного возбуждения люминесценции кристаллов ВаFCl и ВаFІ //Доклады Академи наук Республики Узбекистан.- Ташкент, 2016. - №1. - С.20–23 (01.00.00. №7)

5. Нуритдинов И., Аташов Б.Т., Утениязова А.Б. Собственная люминесценция кристаллов ВаFCl и ВаFІ. //Узбекский физический журнал. – Ташкент, 2016.- Т.18, №1.- С.39–44. (01.00.00. №5)

II бўлим (II часть; part II)

6. Аташов Б.Т., Нуритдинов И., Утениязова А.Б., Отениязов Е. Рекомбинационная люминесценция кристаллов ВаFCl и ВаFІ // Вестник Каракалпакского отделения Академии наук Республики Узбекистан. – Нукус, 2012. – Т. 226, № 1, – С. 18-22.

7. Аташов Б.Т., Нуритдинов И., Утениязова А.Б., Турданов К. Радиационное дефектообразование в кристаллах ВаFBr // «Ядерная и радиационная физика»: Тез. докл. 6-ой Международной конференции. – Алматы, 2007. – С. 383-384.

8. Аташов Б.Т., Нуритдинов И., Турданов К., Утениязова А.Б. Фото и термостабильность радиационных дефектов в кристаллах ВаFІ // «Ядерная физика и ядерные технологии»: Сборник докладов. III Республиканская конференция молодых физиков Узбекистана. – Ташкент, 2010. – С. 215-222.

9. Аташов Б.Т., Утениязова А.Б., Нуритдинов И. Люминесценция кристаллов ВаCl и ВаFІ // «Современные проблемы физики полупроводников»: Материалы Республиканской конференции. –Нукус, 2011. – С. 148-149.

10. Atashov B.T., Nuritdinov I., Uteniyazova A.B. Influence of impurities on radiation defect formation in BaFI crystals // “Nuclear science and its application”: Book of abstracts of International Conference. – Samarkand, 2012. – P. 236-237.

11. Нуритдинов И., Аташов Б.Т., Утениязова А.Б. О механизмах возбуждения гамма-, рентгено- и катодолюминесценции кристаллов BaFCl и BaFI // «Замоновий физиканинг долзарб муаммолари»: Республика илмий-назарий анжумани материаллари. – Термиз, 2013. – С. 69-71.

12. Nuritdinov I., Atashov B.T., Uteniyazova A.B., Saidachmedov K.Kh., Daliev Kh.S. Influence of impurities on formation and annealing of radiation defects in ionic crystals // “New Trends of Development Fundamental and Applied Physics: Problems, Achievements and Prospects”: Book of abstracts of International Symposium. – Tashkent, 2016. – P. 225-227.

13. Нуритдинов И., Утениязова А.Б., Аташов Б.Т. Радиационно-наведенные дефекты в кристаллах SrFCl // Препринт. – Ташкент: ИЯФ АН РУз, 2018. – P-10-465. – 10 с.

Автореферат “Тил ва адабиёт таълими” журнали таҳририятида
таҳрирдан ўтказилди (10.06.2018 йил)