

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ**  
**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ**

Қўлёзма ҳуқуқига эга  
УДК 538.9 (535.34+535.37)

**САИДАҲМЕДОВ ҚАҲРАМОН ҲУСАНОВИЧ**

**СК-1 СТЕАТИТ КЕРАМИКАСИДА РАДИАЦИЯВИЙ**  
**НУҚСОНЛАР ҲОСИЛ БЎЛИШИ**

01.04.07 – Конденсатланган ҳолат физикаси

Физика-математика фанлари номзоди  
илмий даражасини олиш учун  
тақдим қилинган диссертация

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т И**

**Тошкент-2011**

Иш Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси  
Ядро физикаси институтида бажарилган

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

**Расмий оппонентлар:** физика-математика фанлари доктори  
Ташметов Манноб Юсупович

физика-математика фанлари номзоди  
Сулейманов Султан Хамидович

**Етакчи ташкилот:** Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий  
Университети

Ҳимоя «\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 й. соат \_\_ да Ўзбекистон Республикаси  
Фанлар академияси Электроника институти ва Ўзбекистон Республикаси  
Фанлар академияси Ядро физикаси институти ҳузуридаги фан доктори илмий  
даражасини олиш учун диссертациялар ҳимояси бўйича Д.015.23.01 рақамли  
Бирлашган ихтисослашган кенгаш мажлисида ўтказилади. Манзил: Тошкент  
ш., Улуғбек шаҳарчаси, ЎзР ФА Ядро физикаси институти; тел. (8-10-998-71)  
2893464, факс (8-10-998-71) 1503080

Диссертация билан ЎзР ФА Ядро физикаси институтининг илмий  
кутубхонасида ва ЎзР ФА Фундаментал кутубхонасида танишиш мумкин.

Автореферат таркатилди «\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 й.

Бирлашган ихтисослашган  
кенгаш илмий котиби  
физика-математика фанлари доктори, профессор

Хидиров И.

## ДИСЕРТАЦИЯНИНГ УМУМИЙ ТАҲЛИЛИ

**Мавзунинг долзарблиги.** Хозирги замонда керамика билан у ёки бу даражада боғлиқ бўлмаган инсон фаолияти соҳасини топиш қийин. Керамик материаллар энергетикада ва информатикада, тиббиёт, машинасозлик, радиотехника, вакуум, космос техникаси ва халқ хўжалигининг бошқа соҳаларида кенг қўлланилмоқда. Керамик материалларнинг қўлланилиши йилдан-йилга кенгайиб бормоқда. Бу материалларга қизиқиш шу нарса билан ифодаланадики, улар бошқа материалларга, масалан, монокристаллар ёки шишаларга нисбатан чидамли ва тайёрланиши кам меҳнат талаб қилади. Махсус мосламалар ва қурилмаларда қўлланиладиган керамик материаллар юқори кучланишда (1150 кВ), катта тоқларда, юқори частотали электр майдонларида, механик таъсирлар, тебранишлар, юқори ҳароратларда ( $\sim 500$  °С) бемалол ишлай олади. Келажакда атом энергиясининг ҳиссаси ортиб бориши сабабли, бу материалларнинг атом ва термоядро энергетикасида тутган ўрни ҳам ортиб боради. Бу соҳада керамика аввалдан қўлланилиб келинмоқда, баъзи бир ҳолларда унинг ўрни бекиёс. Масалан, керамикада таёрланган буюмлар дезактивлаштирувчи эритмалар ва юқори интенсивликдаги гамма нурларнинг биргаликдаги таъсири шароитларида ишловчи АЭС герметик қобикларида, ёнғинга қарши тўсиқ сифатида атом реакторларининг кабель йўлакчаларида юқори ҳароратларда ва катта оқимли нейтронлар ва бошқа турдаги радиациянинг кучли таъсир шароитларида самарали қўлланилади. Кўпгина қаттиқ жисмларнинг хусусиятлари уларнинг структуравий тузилиши, шу жумладан структуравий нуқсонлари билан ҳам боғлиқдир. Шунинг учун амалий ва илмий жихатдан радиациявий нуқсонларнинг ҳосил бўлиши, тўйиниши, бир турдан иккинчи турга айланиши ва йўқолиши қонуниятларини ва табиатини аниқлаш ўта муҳимдир. Шу муносабат билан асосини мураккаб оксидлар ташкил этган ва таркиби бузилган структурага эга бўлган керамик материаллардаги радиация билан стимуллаштирилган жараёнларни ўрганиш илмий ҳамда амалий аҳамиятга эга.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Адабиётларда керамикавий диэлектрикларда радиациявий нуқсонларни ўрганишга бағишланган бир қанча ишлар маълум (Белоусов В.М, Ким Ген Чан, Мухамеджанов М.А. ва бошқалар). Анчагина ишлар керамиканинг нурлантиришгача ва нурлантиргандан кейин механикавий, структуравий, электрофизикавий (солиштирама ва ҳажмий электр ўтказувчанлиги) ва дилатометрикавий хоссаларини ўрганишга бағишланган (Костюков Н.С., Муминов М.И., Астапова Е.С., Ванина Е.А., Rигterink M. D ва бошқалар).

Кўпгина хоссалар асосан техникавий параметр сифатида ўрганилган. Амалда керамикавий диэлектрикларнинг радиациявий нуқсонлари табиатини ўрганишга бевосита алоқадор бўлган ишлар мавжуд эмас. Бундан ташқари, керамикада кристалл ва аморф фазалар мавжуд бўлганлиги уларнинг радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлиш дараёнида тутган ўринлари ҳақидаги масалани ҳам қўяди. Керамикада радиациявий нуқсонларни ўрганишга бағишланган ишлар систематик характерга эга эмаслар. Баъзи ишларни истисно қилган-

да, керамикадаги радиациявий нуқсонлар табиатини ўрганишга кам эътибор берилган.

Шунинг учун асосини мураккаб оксидлар ташкил этган ва тартиби бузилган керамикавий материаллардаги радиациявий жараёнларни ўрганиш муҳим аҳамиятга эга. Бундан ташқари, бу тадқиқотлар нафақат амалий масалаларни ҳал қилишда, балки бу материалларда ҳосил бўладиган радиациявий нуқсонлар механизмини ва радиация таъсиридаги жараёнларни ўрганишда қўл келади. Оқибатда бу тадқиқотлар натижалари атом ва термоядро энергетикасида кенг қўлланилиши мумкин. Шуниндек, бу тадқиқотлар натижалари фақат мутахассислар учунгина эмас, балки керамикавий материалларнинг хоссаларини мақсадга мувофиқ бошқаришда ҳам жуда зарурдир.

**Диссертация ишининг илмий тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация асосини ЎзФА ЯФИ нинг “Модифицирланган ва тартиби бузилган структуралар радиациявий физикаси” лабораториясидаги ва ”Оптик материаллар радиациявий физикаси” бўлимидаги куйидаги илмий изланишлар ва мувофиқлаштирилган илмий-тадқиқот мавзулари бўйича олиб борилган изланишлар ташкил этади: “Радиационно-стимулированные явления в технических керамиках и высокотемпературных сверхпроводниках”, давлат қайд рақами 01970005179 (1997-1999г); “Радиационная модификация структуры и свойств многокомпонентных оксидных материалов”, давлат қайд рақами 01.200009679 (2000-2002г); “Нестационарные радиационные процессы в волоконно-оптических и сцинтилляционных материалах”, шартнома рақами: Ф-2.1.13 (2003-2007г).

**Тадқиқотнинг мақсади.** СК-1 стеатит керамикасида радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлиш жараёнларининг қонуниятларини оптикавий, парамагнит ва рентгенофазавий усуллар ёрдамида тадқиқ қилиш.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

1. Юқори дозали ( $\geq 10^9$  Р) гамма-нурларининг стеатит керамикасининг оптикавий хоссаларига таъсирини тадқиқ қилиш.
2. Радиациявий нуқсонлар табиатини ўрганиш учун, бу нуқсонлар тўпланишининг радиация дозасига ( $10^5 \div 10^{10}$  Р) боғлиқлигини ўрганиш.
3. СК-1 стеатит керамикасида ҳосил бўлган радиациявий нуқсонлар табиатини аниқлаш.
4. Оксидловчи ва қайтарувчи термик ишловнинг СК-1 стеатит керамикасининг оптикавий хусусиятларига таъсирини ўрганиш.
5. Реакторнинг n-γ-нурланишини ( $10^{17} \div 10^{20}$  н/см<sup>2</sup>) стеатит керамикасининг оптикавий ва парамагнит хоссаларига таъсирини ўрганиш.

**Тадқиқот объекти ва предмети.** Бу ишдаги тадқиқотлар объекти СК-1 стеатит керамикасида γ- ва n-γ-реактор нурланишида радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлишидир. Тадқиқотлар предмети эса СК-1 стеатит керамикасидаги нуқсонлар ҳосил бўлиш жараёни қонуниятларини ўрганишдир.

**Тадқиқот услуби.** Кўйилган вазифаларни ҳал этиш учун диффузиявий қайтиш-(ДҚ) термо-(ТЛ), гамма-(ГЛ), фото-(ФЛ), рентгенолюминесценция

(РЛ), электрон-парамагнит резонанс (ЭПР), рентгенофазавий ва активациявий таҳлил услубларидан фойдаланилди

### **Ҳимояга олиб чиқилаётган асосий бандлар:**

1. Юқори дозали ( $\geq 10^9$  Р)  $\gamma$ -нурлари таъсирида СК-1 стеатит керамикасида  $E'$ -марказлар ва V-марказлар каби структуравий нуқсонлар ҳосил бўлиши ҳақидаги банд.

2. Гамма нурлари воситасида ҳосил бўладиган радиациявий нуқсонлар электрон уйғонишларининг нурланишсиз емирилишига асосланган чегара ости механизми воситаси ёрдамида асосан кристалл ҳамда шишасимон фазаларнинг тутатиш соҳасида содир бўлади.

3. Юқори ҳароратларда ( $T \geq 850$  °C) термик ишлов бериш воситасида стеатит керамикасининг оптикавий хусусиятларининг бузилиши кристалл фазадаги фаза ўтиши ва шишасимон фазанинг қисман кристалланиши билан боғлиқдир.

4. Ҳосил бўлган радиациявий нуқсонлар, яъни  $E'$ -марказлар, боғланмаган кислород атомлари (БКА), V-марказлар ва кислород вакансиялари каби радиациявий нуқсонларнинг табиатларини аниқлаш, шунингдек электрон уйғонишларининг автолокализацияси (ЭУА) ва электрон-ғовак жуфтлар рекомбинацияси билан боғлиқ  $Mn^{2+}$  ионларининг рекомбинациявий люминесценциясининг уйғотилиш, нур чиқариш ва сўниш механизмлари таклиф этилди.

5. Реакторда нурлантирилган керамик намуналарда  $\gamma$ -нурлари билан нурлантирилган намуналарга нисбатан кўшимча структуравий нуқсонлар, жумладан, БКАлари, кислород вакансиялари ва ҳар хил турдаги V-марказлар ҳосил бўлади.

### **Илмий янгилиги:**

1. Биринчи мартаба ТЛ, ДҚ ва ЭПР усуллари билан СК-1 магнезиал керамикасида бўялиш ва нур чиқариш марказлари тадқиқ қилинди. Систематик тадқиқотлар асосида юқори дозали ( $> 10^9$  Р)  $\gamma$ -нурлари билан нурлантирилган СК-1 стеатит керамикасида,  $E'$ -марказлар ва V-марказлар каби структуравий нуқсонлар ҳосил бўлиши кўрсатилган. Гамма нурлари таъсирида силжиган атомлар миқдорини ҳисоблаш нуқсонлар ҳосил бўлиши асосан чегара ости механизми билан содир бўлишини кўрсатди.

2. Реакторда нурлантирилган керамика намуналарида,  $\gamma$ -нурлари билан нурлатилган намуналарга нисбатан, кўшимча структуравий нуқсонлар, жумладан, БКА, кислород вакансияси ва ҳар-хил турдаги V-марказлар ҳосил бўлади.

3.  $E'$ -марказлар, БКА, кислород вакансиялари ва V-марказлар каби радиациявий нуқсонларнинг табиати аниқланди. Юқори ҳароратларда ( $T \geq 850$  °C) термик-ишлов бериш воситасида стеатит керамикасининг оптик хусусиятларининг ўзгариши кристаллфазадаги фазавий ўтиш ва шишасимон фазанинг қисман кристалланиши билан боғлиқдир.

4.  $Mn^{2+}$  ионларига электрон уйғонишлар энергияси (ЭУЭ) узатилиши ҳамда Mn ионларида зарядларнинг рекомбинацияси туфайли ТЛ чўққиларида ва ГЛ да вужудга келувчи нур чиқариш марказларининг табиати аниқланди.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Ушбу ишда олинган натижалар радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлиш механизмлари ҳақидаги тасаввурларни анчагина кенгайтиради. Бу натижалар бошқа тартибланган ва тартиби бузилган мураккаб оксидли материалларда рўй берадиган турли радиация билан стимуллашган жараёнларнинг табиатини аниқлашда қўл келади. Бу натижалар ушбу материалларни амалиётда қўлланилиши билан шуғулланувчи мутахассислар томонидан фойдаланилиши мумкин, бундан ташқари улар СК-1 магнезиал керамикасини юқори радиация таъсири шароитларида ишлашга олиб келувчи амалий тавсиялар ишлаб чиқиш имконини беради.

**Натижаларни татбиқ қилиш.** Олинган натижалар асосида СК-1 магнезиал керамикасини  $10^9$  Р  $\gamma$ -нурлари таъсирига чидамли материал сифатида тавсия этиш мумкин.

**Ишнинг муҳокамаси.** Ишда олинган натижалар қуйдаги илмий анжуманларда муҳокама қилинди: «Қаттиқ жисмлар физика ва кимёси» бўйича II ва III Узоқ Шарқ ўлкасидаги мактаб-симпозиум, Благовещенск, 1988 ва 1991йй.; II Республика анжумани «Физика твёрдого тела и новые области ее применения», Қараганда, 1990йй.; Radiation effects in insulators-6, Weimar, Germany, 1991йй.; II Республика анжумани «Ядро физикасининг ҳозирги замон муаммолари», Самарқанд, 1997йй.; II, V, VII Халқаро анжуманлари «Ядерная и радиационная физика», Қазақстан, Алма-Ата, 1999, 2005 и 2009ййй.; V Халқаро анжумани «Ядро физикасининг ҳозирги замон муаммолари», Самарқанд, 2003йй.; IV, VI, VII Халқаро анжуманлари «Ядро физикасининг ҳозирги замон муаммолари», Тошкент, 2001, 2006 и 2009ййй.

**Натижаларнинг эълон қилинганлиги.** Диссертациянинг асосий мазмуни 17 та илмий мақолаларда баён этилган бўлиб, улардан 4 таси илмий журналларда, 1 таси препринтда ва 12 таси Халқаро ва Республика конференциялари тезислари ва материаллари тўпламларида чоп этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, 4 боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат бўлиб, 120 бет босма матнда баён қилинган, унга 31 расм, 4 жадвал ва 96 адабиётлар рўйхати киритилган.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш қисмида** мавзунинг долзарблиги, тадқиқотларнинг мақсад ва вазифалари асосланган, натижаларнинг янгилик даражаси, илмий ва амалий аҳамияти ёритилган. Ҳимояга қўйилган асосий ҳолатлар келтирилган.

**Биринчи бобда** Керамик материалларнинг халқ хўжалигининг турли соҳаларида, шу жумладан атом ва термоядро энергетикасидаги аҳамияти ва қўлланилиши баён қилинган. Радиациянинг ушбу материалларга, шу жумладан стеатит керамикасига таъсири ва радиациявий нуқсонлар табиати ҳақида илмий натижалар ва таҳлиллар келтирилган. Стеатит керамикасининг физикавий-кимёвий хоссалари ва фаза-минералогик таркиби келтирилган. Стеатит

керамикасининг асосини ташкил этувчи оксидларнинг ( $MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ), оптик хусусиятлари тўғрисидаги илмий адабиётлар таҳлили келтирилган.

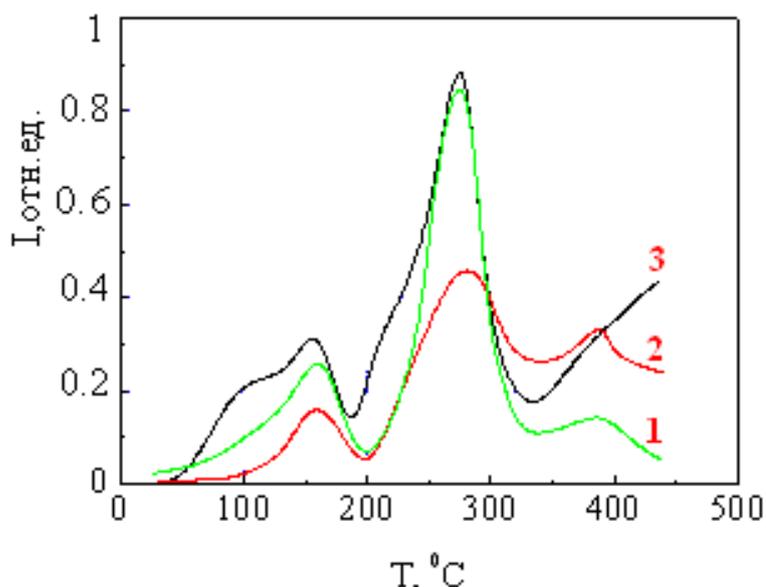
**Иккинчи бобда** ишни бажариш жараёнида фойдаланилган тадқиқот объектлари ва тажриба усулларининг асосий характеристикалари баён этилган. Стеатит керамикасининг люминесценция (ТЛ, ФЛ, ГЛ ва РЛ) хоссаларини ўрганиш учун намуналар пластинка шаклида ( $10 \times 10 \times 1 \text{ мм}^3$ ) кесиб олинган, намуналар сирти силлиқланган ва оптик нурларнинг яхши қайтиши учун сайқаллаштирилган. Ҳар бир ўлчашлар олдидан намуналарнинг сирти ифлосланмаслик учун спирт билан тозаланган. Қўйилган масалаларни хал қилишда намуналар ЎзФА ЯФИ даги бассейн типигаги  $^{60}\text{Co}$  манбасининг γ-нурлари билан  $100 \div 3500 \text{ Р/с}$  қувватда ва  $10^4 \text{ Р}$  дан  $1,5 \cdot 10^{10} \text{ Р}$  дозаларгача нурлантирилди. Нурлантиришлар каналлар ҳароратида ( $30 \div 70 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ва суюқ азот ҳароратида ( $77\text{K} - 196 \text{ }^\circ\text{C}$ ) амалга оширилди.

Нейтронлар билан нурлантирилиш ЎзФА ЯФИ реакторида  $\sim 40 \div 50 \text{ }^\circ\text{C}$  ҳароратда, нейтронлар оқим қуввати  $5 \cdot 10^{13} \text{ н/см}^2$  бўлган (тез нейтронларнинг иссиқлик нейтронларга нисбати 1:10) ҳолда бажарилди ва  $10^{17} \div 10^{20} \text{ н/см}^2$  флюенсларгача нурлантирилди. Нейтрон билан нурлантирилган намуналарнинг радиоактивлиги нурланиш нормаси даражасига тушгандан кейингина тадқиқотлар учун ишлатилди. Термолюминесценция учун намуналар  $25 \div 450 \text{ }^\circ\text{C}$  ҳарорат оралиғида, ҳароратнинг  $0,1 \text{ град./с}^{-1}$  (6 град/мин) тезлик билан ўзгаришида ўлчанди. Нурланиш ФЭУ-39 билан қайд қилинди, қайд қилинган сигнал икки координатали Н-307/□1 ўзи ёзувчи асбоб ёрдамида ёзилди. ГЛ ва ТЛ чўққиларидаги нурланишнинг спектрал таркибини аниқлаш тўлқин узунлик-ларининг  $200 \div 800 \text{ нм}$  оралиғида ўлчанди. Бу мақсадлар учун спектрларни автоматик равишда тақсимлайдиган ЗМР ва УМ-2 монохраматорларидан фойдаланилди. Нурланиш спектрларни қайд қилиш эса ФЭУ-39 ва ФЭУ-51 асбобларида амалга оширилди.

Рентгенолюминесценция ва фотолюминесценция эса ИРИС-3 рентген аппарати асосида йиғилган мосламада ва икки монохраматор ёрдамида амалга оширилди. Намуналарда фотолюминесценция уйғотиш учун ДДС-30 дейтерий лампаларидан фойдаланилди. Рентген манбаси сифатида сув билан совутиладиган БСВ типигаги мис антикатодига эга трубкадан фойдаланилди. Рентгенолюминесценция ток кучланишининг  $30 \text{ кВ}$  ва ток кучи  $30 \text{ мА}$  бўлган ҳолатида ўлчанди. Намуналардаги ҳам оптикавий, ҳам рентген усуллари билан уйғотилган люминесценцияси эса ФЭУ-79 асбоби билан қайд қилинди. ЭПР ўлчашлар эса 3-см лик (ишлаш частотаси  $9 \text{ ГГц}$ ) Брукер фирмасининг ESP-300 типигаги спектрометрида хона ҳароратида ўлчанди. Сигналларни таққослаш пайтида иккиламчи тўғри бурчакли резонатордан фойдаланилди, бу эталон ҳамда намуналарни абсолют бир ҳил шароитда ўлчашга имкон беради. Намуналарнинг ўлчами  $10 \times 1 \times 1 \text{ мм}^3$  эди. Қўшимча ЭПР ўлчашлар эса 8 мм диапазонга эга РЭ-1306 радиоспектрометрида (ишлаш частотаси  $37 \text{ ГГц}$ ) бажарилди. Рентген ўлчашлари ДРОН-3М дифрактометрида  $\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$ - нурланишида ( $\lambda=0,1542 \text{ нм}$ ), (Ni-фильтр) билан амалга оширилди. Рентгенограммалар бутун намуналарда ўлчанди, чунки майдаланган намуналарда механик таъсир

воситасида керамиканинг кристалл фазасида полиморф ўзгаришлар бўлиши мумкин.

**Учинчи бобда** тадқиқотларнинг асосий натижалари, яъни СК-1 стеатит керамикасида юқори дозали гамма ( $\geq 10^9$  Р) нурланишида структуравий нуқсонлар ҳосил бўлиши ҳақидаги натижалар келтирилган.  $\gamma$ -нурлари билан нурлантирилган СК-1 намуналарининг термолюминесценцияси ўрганилганда, 155, 275 ва 380  $^{\circ}\text{C}$  ларда чўққилар мавжуд эканлиги аниқланди (1-расм, 1-эгри чизиқ).



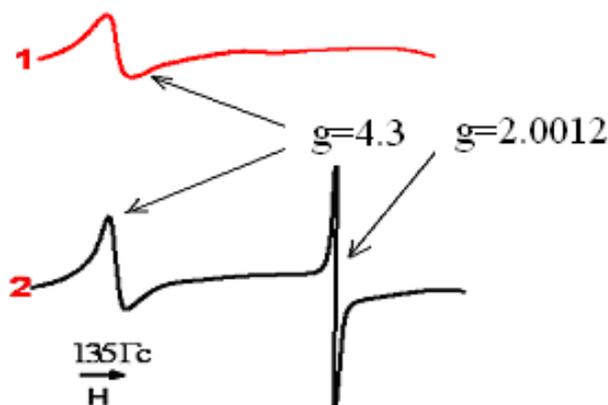
Нурланиш дозалари: 1– $3 \cdot 10^6$  Р; 2–  $3 \cdot 10^8$  Р; 3– $1.6 \cdot 10^{10}$  Р

**1-расм. Гамма нурлари билан нурлантирилган стеатит керамикасининг ТЛ эгри чизиқлари**

Чўққилар интенсивлигининг дозага боғлиқлиги шуни кўрсатдики, то  $10^8$  Р гача чўққиларнинг интенсивлиги ўсиб боради,  $10^9$  Р дозаларда 155, 275  $^{\circ}\text{C}$  даги чўққилар интенсивлигининг пасайиши кузатилади. Аммо максимуми 380  $^{\circ}\text{C}$  да бўлган чўққининг интенсивлиги ўса бориб, ҳатто  $\geq 10^9$  Р дозаларда ҳам тўйиниш кузатилмайди (1-расм, 3-эгри чизиқ). Тажриба натижаларнинг таҳлили юқори дозали  $\gamma$ -нурлари билан нурлантирилган СК-1 керамикасида янги нуқсонлар пайдо бўлишини кўрсатди. Уларнинг юқори ҳароратларда йўқ бўлиши бу нуқсонларнинг структурага тегишли эканлигини кўрсатди. ЭПР ўлчашларида нурлантирилмаган ҳолдаги керамика намунасида биргина парамагнит ютилиш сигнали, яъни  $g=4,3$  кузатилиб, бу сигнал бевосита тетраэдрик координацияда жойлашган  $\text{Fe}^{3+}$  иони билан боғлиқдир (2-расм, 1-эгри чизиқ).

$\sim 2 \cdot 10^6$  Р доза билан нурлантирилгандан сўнг, ЭПР спектрларида кўшимча  $g=2,0012$  парамагнит ютилиш сигнали пайдо бўлиб, бу сигналнинг интенсивлиги  $2 \cdot 10^{10}$  Р дозаларда нурлантирилганда ҳам тўйиниш аломатлари

кузатилмаган ҳолда ортиб боради, айти вақтда  $g = 4,3$  парамагнит ютилиш сигнали интенсивлиги ҳам ортиб боради.



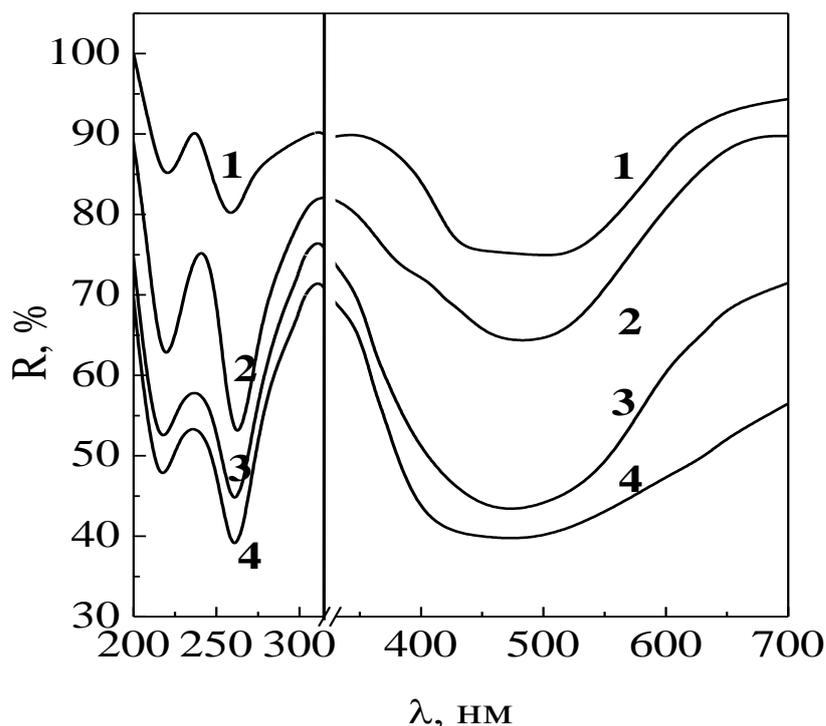
- 1– нурлантирилмаган намуна;  
 2–  $\gamma$ - нурлари билан нурлантирилган намуна ( $D_\gamma = 3 \cdot 10^8$  Р)

## 2-расм. СК-1 стеатит керамикасининг ЭПР спектрлари

Шишасимон фазанинг радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлишдаги ҳиссасини аниқлаш мақсадида таркиби стеатит керамикасининг шишасимон фазаси таркибига яқин бўлган шишанинг ТЛ ва ЭПР хоссалари ўрганилди. Бу шишаларда стеатит керамикасида пайдо бўлган ТЛ чўққилар ва парамагнит ютилиш сигнали аниқланмади. Бу тажриба шишасимон фазада радиациявий нуқсонлар деярлик ҳосил бўлмаслигини кўрсатди.

155, 275 ва 380 °С лардаги чўққиларнинг  $g=2,0012$  парамагнит ютилиш сигнали билан боғлиқлиги ўрганилди. 155 ва 275 °С даги ТЛ чўққилари  $g=2,0012$  парамагнит ютилиш сигнали билан боғлиқ эмас экан. ЭПР сигналининг тўлиқ йўқолиши  $\sim 600$  °С ҳароратларда содир бўлади. ЭПР ва ТЛ натижаларини таққослашда шу нарса аниқландики,  $g=2,0012$  сигнали интенсивлиги ортиши билан юқори ҳароратдаги яъни 380 °С даги чўққининг интенсивлиги ҳам ортиб борар экан. Максимуми 380 °С даги чўққи тўлиқ йўқ бўлиши  $\sim 900$  °С ҳароратларда кузатилади. Термик турғунликдаги фарқ шу билан изоҳланадики, структуравий нуқсондаги боғланган заряд паст ҳароратларда озод бўлади, структуравий нуқсонлар эса юқори ҳароратларда яъни 800÷900 °С йўқ бўлиб кетади. Агарда стеатит керамикасини  $2 \cdot 10^{10}$  Р дозагача нурлантириб,  $\sim 600$  °С ҳароратда қиздирсак (яъни барча парамагнит марказларни йўқотсак), сўнгра  $3 \cdot 10^6$  Р билан нурлантирсак, қайта нурланишдан сўнг ЭПР сигналининг интенсивлиги биринчи бор шу доза билан нурлантирилган намуна сигналининг интенсивлигидан тахминан  $\sim 2,5$  баробар ортиқ бўлар экан. Сўнгра, 900 °С ҳароратда намунани қиздирсак ва  $3 \cdot 10^6$  Р билан нурлантирсак, қайта нурланишдан сўнг ЭПР сигналининг интенсивлигининг ўсиши кузатилмайди. Бу тажриба ҳам билвосита кўрсатадики, юқори дозали  $\gamma$ -нурланишида СК-1 стеатит керамикасида структуравий нуқсонлар ҳосил бўлар экан ҳамда ТЛ эгри чизиқларида ва ЭПР спектрларида намоён бўлар экан. Илмий адабиётлардаги силикат бирикмалари, кварц ва силикат

шишаларига оид берилган маълумотларга асосланиб, кўриниши ва параметрларининг ( $g=2,0012$  ( $\delta H=5G$ )) ўхшашлигини ҳисобга олган ҳолда, стеатит керамикасида кузатилаётган ЭПР сигналининг  $E^1$ -марказга тегишли эканлигини ҳақида ҳулоса қилиш мумкин. Бу нуқсоннинг асосий белгиларидан бири—намуналарда  $\lambda=215\div 230$  нм ютилиш соҳасининг мавжудлиги билан белгиланади. Шунинг учун ҳам кейинги мақсад  $E^1$ -марказни оптикавий йўл билан аниқлаш эди. Қаттиқ жисмларнинг оптикавий хоссаларини ўрганиш учун кенг тадбиқ этиладиган ютилиш спектрларини ўрганиш усули ўзидан нур ўтказмайдиган керамика материаллари учун яроқсиз. Бундай объектларнинг оптикавий характеристикаси сифатида қайтиш спектрлари, яъни ютилиш коэффициентининг қайтиш коэффициенти- $R$  боғлиқлигидан фойдаланиш мумкин. Диффузиявий қайтиш спектрларини ўрганиш тажрибалари шуни кўрсатдики, нурлантирилмаган стеатит керамикаси оқ рангда бўлиб, нурлантирилгандан сўнг жигарранг тусга киради, ҳамда  $\gamma$ -нурлар дозаси ортиб бориши билан ранг тўққроқ бўлиб боради. Нурлантирилгандан сўнг ДҚ спектрларида кўшимча ютилиш соҳалари, яъни ультрабинафша (УБ) соҳасида максимумлари 220 ва 260 нм полосалар, кўриниш соҳасида максимуми 400÷500 эга бўлган кенг полосалар кузатилади (3-расм, 1,2,3-эгри чизик). Доза ортиб бориши билан ютилиш полосаларининг интенсивлиги ҳам ортиб боради.



1 -  $10^7$  P; 2 -  $10^9$  P; 3 -  $1,5 \cdot 10^{10}$  P; 4 -  $10^{19}$  н/см<sup>2</sup>

**3-расм. Нурлантирилган СК-1 стеатит керамикасининг диффузиявий қайтиш спектрлари**

Кварц ва силикат шишаларда ионлаштирувчи нурлар билан нурлантирилгандан сўнг 220 ва 260 нм соҳаларда турли ютиб қолувчи бўялиш

марказларига ўхшаш полосалар ҳосил бўлиши кузатилган. Кристалл ва шишасимон кварц  $\lambda=215$  нм атрофида  $E^1$ -марказларнинг ютилиш полосасига эга ва у уч координацияли кремний атомининг электронни тутиб қолиши ( $\equiv Si^\bullet$ ) ва  $g=2,0012$  парамагнит ютилиш сигнали билан характерланади. Шунинг учун биз стеатит керамикасида кузатилаётган  $\lambda=220$  нм ютилиш полосасини  $E^1$ -марказга тегишли деб ҳисоблаймиз. 260 нм полосада БКА ёруғликни ютади. БКА нинг асосий белгиларидан бири—220 ва 620 нм соҳаларда ёруғликни ютиши, ГЛ ва ФЛ спектрларида кузатиладиган 660 нм соҳада люминесценция бериши билан изоҳланади.

Стеатит керамикасида 640 нм соҳада люминесценция кузатилади. Бу люминесценция дастлаб нурлантирилмаган намуналарнинг ГЛ спектрларида ҳам кузатилади, унинг интенсивлиги  $\gamma$ -нурларнинг дозаси ортиши билан ортмайди, нейтронлар билан нурлатилганда унинг интенсивлиги нейтронлар флюенсининг ортиши билан камайиб кетади. 260 нм ютилиш соҳасида уйғотилганда, керамик намуналарнинг люминесценция спектрида 660 нм да БКА га тегишли люминесценция соҳаси кузатилмади. Бундан келиб чиққан ҳолда айтиш мумкинки, СК-1 стеатит керамикасидаги 260 нм ютилиш соҳаси БКА лар билан боғлиқ эмас экан ( $\lambda=640$  нм соҳасидаги люминесценция табиати ҳақида кейинроқ тўхталиб ўтаемиз). Ютилиши  $\lambda=260$  нм да бўлган полоса кўпгина оксид бирикмалар таркибидаги темир аралашмасига тегишли деб ҳисобланади ва  $Fe^{3+}$  ионинг ютилиш соҳаси билан боғланади. Биздаги нурлантирилмаган намунанинг ЭПР спектрларида парамагнит ютилиш сигнали, яъни  $g=4.3$  кузатилган эди. Шунинг учун ютилиш максимуми 260 нм соҳани  $Fe^{3+}$  ионининг ютилиш деб ҳисоблаймиз.

Гамма-нурланишидан сўнг намуналарда кўриниш оралигида максимуми 400÷500 нм эга бўлган кенг ютилиш соҳалари кузатилади. Бундай соҳалар кўпгина оксид ва силикат бирикмаларда кузатилади. Улар катион вакансиялари ёки катионлар ўрнига кирган аралашмалар ёнида жойлашган кислород ионларида тутилган ғовакли марказлар билан боғлиқдир. Шунинг учун ҳам гамма нурлари билан билан нурлантирилган СК-1 керамикасида кўриш областида пайдо бўладиган кўшимча ютилиш V-типидаги марказлар билан боғлиқ деб ҳисоблашимиз мумкин.

Оксидловчи ва қайтарувчи термик ишловнинг СК-1 стеатит керамикасининг оптикавий хусусиятларига таъсирини ўрганиш бизнинг тахминларимизнинг тўғрилигини кўрсатди. Бунинг учун оксидловчи ва қайтарувчи термик ишловнинг СК-1 стеатит керамикасининг оптикавий хусусиятларига, яъни ТЛ ва ДҚ спектрларига таъсири ўрганилди. Оксидловчи термик ишлов ва  $10^6$  Р  $\gamma$ -нурланишидан сўнг юқори ҳароратдаги, яъни 380 °С даги чўққининг интен-сивлигида айтарлик ўзгариш сезилмади, лекин 155 ва 275 °С чўққиларнинг интенсивлиги ўсиши ва 80÷90 °С ҳарорат оралигида яна бир чўққининг пайдо бўлиши кузатилди. Оксидловчи термик ишловдан сўнг, амалга оширилган қайтарувчи термик ишлов ва  $10^6$  Р  $\gamma$ -нурлантириш 155 ва 275 °С чўққиларнинг интенсивлиги камайишига ва 80÷90 °С оралигидаги чўққининг йўқолишига олиб келди. Термик ишлов берилган ва термик ишланмаган ҳамда

$10^6$  Р  $\gamma$ -нурлантирилган намуналарнинг ДҚ айирма спектрлари [ $\Delta R=(R_{\text{иш.}}-R_{\text{тер.иш.}})$ ] эса шуни кўрсатдики, термик ишланмаган намуналарда кучсиз бўялиш кузатилади ва 320÷700 нм оралиғида қўшимча ютилиш пайдо бўлади. Оксидлавчи термик ишлов берилган намуналарда эса  $10^6$  Р дозадан кейин, бўялиш анча ортади ва қўшимча ютилиш соҳалари пайдо бўлиб, улар орасидан максимуми 400÷500 нм ва 500÷600 нм соҳаларни ажратиш мумкин.

Маълумки, оксидлавчи термик ишлов бериш стехиометрияни ўзгартиришга ва катион вакансияларини ҳосил бўлишига,  $\gamma$ -нурланишидан сўнг катион вакансияларида ғовакларнинг тутилиши эса V-турдаги марказларнинг пайдо бўлишига олиб келади. Хусусан улар  $V^{2-}$  (катион вакансияси ёнидаги кислород иони  $O^-$ ),  $V^-$  (бир ғовак билан боғланган катион вакансияси),  $V^0$ -(икки ғовак билан боғланган катион вакансияси) марказлар бўлиши мумкин. Юқорида қайд қилинган барча марказларнинг таркибида амалда ҳар хил ҳолатда жойлашган  $O^-$  ионлари мавжуд. Жойлашган ўринлари турлича бўлгани учун, ғовакларнинг термик ионизацияси бундай марказда ўрни тутилиш энергияси чуқурлигига қараб турлича бўлиши мумкин.

УБ соҳасидаги максимумлари 220 ва 260 нм ларда ва кўриниш соҳасидаги максимумлари 400÷500 нм ва 500÷600 нм ларда бўлган ютилиш полосаларининг термик турғунлигини ўрганиш жараёнида, ёруғликнинг диффузиявий қайтиш коэффициенти – (R%) нинг ҳароратга боғлиқлиги графигида, 800÷900 °С ҳарорат оралиғида кескин ўзгариши кузатилди.

Бу ҳодисани радиацион нуқсонларни қиздириб йўқотиб юбориш билан тушунтириб бўлмас эди, чунки бунда юқори ҳароратларда бўялиш марказлари йўқ бўлиб кетиши керак эди. Эҳтимол бу ҳодиса намунани юқори ҳароратда қиздиришнинг ўзигагина боғлиқ бўлиб, радиацион нуқсонлар билан алоқаси йўқдир. Шуни аниқлаш мақсадида, қиздириш ҳароратининг стеатит керамикасининг фазавий таркибига таъсири ўрганиб кўрилди. Тажриба натижасида шу нарса маълум бўлдики, яъни 865 °С да керамиканинг кристалл фазаси бўлмиш метасиликат магнийда– $MgSiO_3$  полиморф ўзгаришлар ва шишасимон фазанинг қисман кристалланиши содир бўлар экан. Бу хулоса ҳарорат билан ишлов берилган ва ишлов берилмаган намуналарнинг рентгенограммаларни ва микрозичликларини ўрганишда ўз тасдиқини топди.

Юқорида қайд қилиб ўтканимиздек, СК-1 стеатит керамикасида 640 нм соҳасида люминесценция кузатилади. Унинг табиати аниқланмаган ва у БКА га боғиқ эмас эди. Оксидлар ва силикатлар билан боғлиқ адабиётлар таҳлили кўпгина силикатли бирикмаларда  $Mn^{2+}$  ионидаги нурланиши d-d ўтишлари билан боғлиқ люминесценция мавжуд эканлигини кўрсатади. Люминесценциянинг табиатини аниқлаш учун олдиндан марганецли эритмада (калий перманганат– $KMnO_4$ ) ивитилган керамикага термик ишлов берилди. Термик ишловдан сўнг намунадаги люминесценция спектри термик ишланмаган намуна спектри билан айнан бир хил бўлиб, фақат люминесценция интенсивлиги анча ошган эди. Бундан ташқари, ЭПР усули билан ҳам намунада  $Mn^{2+}$  иони мавжудлиги аниқланди.

ГЛ интенсивлигининг ҳарорат билан ўзгариши шуни кўрсатдики, ҳарорат

то 77К(-196 °С) гача пасайганда люминесценция интенсивлиги камайар экан. Ҳароратнинг 77К(-196 °С) дан то 150К(-123 °С) гача кўтарилишда люминесценция интенсивлиги ўзгармайди. Ҳароратнинг кейинги ўсишида интенсивлик орта бориб,  $\geq 200\text{К}(-73\text{ }^\circ\text{С})$  да тўйинишга чиқади. Люминесценция интенсивлигининг  $\gamma$ -нурлар дозасига боғлиқлиги шуни кўрсатдики, то  $10^8$  Р гача интенсивликнинг ўсиши кузатилади, сўнггра у ўзгармайди. Люминесценция интенсивлигининг паст ҳароратларда 77К(-196 °С) камайиши кўпгина оксид материалларда кузатиладиган ва уни электрон уйғонишларининг автолокализацияси (ЭУА) билан тушунтириш мумкин. Фараз қилайлик, паст ҳароратларда нурлантирилганда автолокализацияланган экситонлар ва ғоваклар ҳосил бўлсин. Ҳароратнинг кўтарилиши билан уларнинг ҳаракати тезлашади. Диффузион кўчиш йўли билан улар активатор билан тўқнаш келишади, ушбу схема бўйича алмашув ҳисобига уйғониш энергияси уларга узатилади:



Автолокализацияланган ғоваклар юқори ҳароратларда тезликлари ортади ва ҳаракатчан бўлиб, улар ҳам активатор билан тўқнашишади,  $\text{Mn}^{2+}$  иони билан рекомбинациялашган ҳолда мана бу схема бўйича люминесценцияга олиб келади:



Экситонларнинг диссоциацияси, юқорида қайд этилган механизмлардан ташқари,  $\text{Mn}^{2+}$  ионларининг бошқа бир рекомбинациявий нурланиш механизмига ҳам олиб келади:



Юқорида келтирилган тажриба натижалари кўрсатадики, катта дозали  $\gamma$ -нурлар таъсирида ( $\geq 10^9$  Р) СК-1 стеатит керамикасида структуравий нуқсонлар ҳосил бўлар экан. Нуқсонларнинг ҳосил бўлиш механизми аниқлаш мақсадида  $10^{10}$  Р дозада  $\gamma$ -нурлари билан нурлантирилган комптон электронлари таъсирида эластик тўқнашувлар туфайли пайдо бўладиган силжиган атомлар миқдори назарий усулда ҳисоб-китоб қилинди, натижалар 1-жадвал келтирилган.

**1–жадвал**

**Ҳажм бирлигида, силжиган атомлар сонининг силжиш энергияси  $E_d$  боғлиқлиги**

$E_d, \text{ эВ}$	$O, \text{ см}^{-3}$	$Mg, \text{ см}^{-3}$	$Si, \text{ см}^{-3}$
40	$1,28 \cdot 10^{15}$	$1,71 \cdot 10^{14}$	$2,61 \cdot 10^{14}$
60	$2,45 \cdot 10^{14}$	$1,26 \cdot 10^{14}$	$1,18 \cdot 10^{14}$
70	$4,61 \cdot 10^{13}$	$2,28 \cdot 10^{13}$	$1,38 \cdot 10^{13}$

Бу натижаларга кўра, ҳажм бирлиги ичида эластик тўқнашувлар туфайли силжиган атомлар ҳосил бўлиш эҳтимоллиги жуда оз экан. Бундан келиб чиққан ҳолда айтиш мумкинки, комптон электронларининг нуқсонлар ҳосил бўлиш жараёнига қўшган хиссаси жуда кам бўлади. Демак, СК-1 стеатит керамикасидаги асосий структуравий нуқсонлар эластик тўқнашувларсиз рўй берар экан. Нуқсонлар ҳосил қилиши мумкин бўлган механизмлардан бири – бу электрон уйғонишларининг нуқтавий нуқсонлар ёнида ёки кристалл ва шишасимон фазалар чегарасида нурланишсиз емирилишидир.

**Тўртинчи бобда**  $n$ - $\gamma$ -реактор нурланишининг СК-1 стеатит керамикаси люминесценциявий (ТЛ, ГЛ ва РЛ), абсорбциявий яъни ДҚ ва ЭПР характеристикаларига таъсири ўрганилган. Маълумки,  $^{60}\text{Co}$  манбасининг  $\gamma$ -нурларидан фарқли ўлароқ, нейтронлар эластик ва ноэластик тўқнашувлар асосида модда атомларини кристалл панжараларидан силжитиб чиқаради.

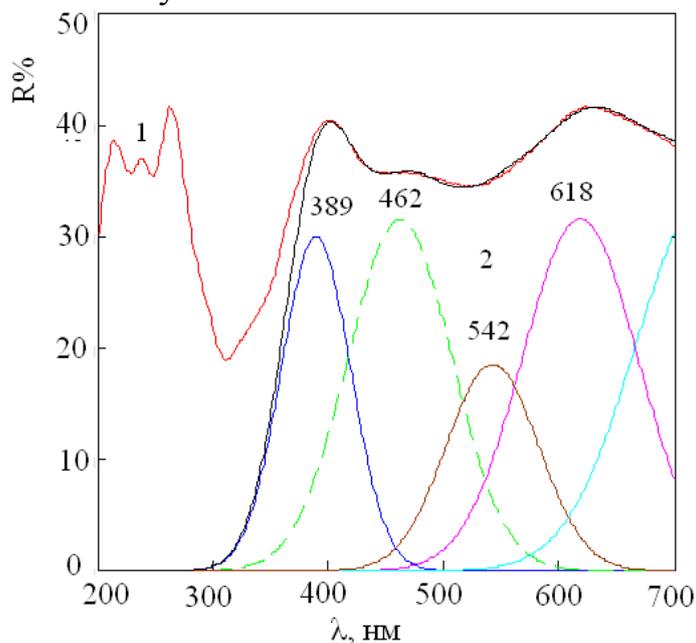
$n$ - $\gamma$ -нурлантирилгандан сўнг, керамика намуналарнинг ТЛ эгри чизиқларини ўрганиш натижалари шуни кўрсатдики,  $10^{17}$  н/см<sup>2</sup> флюенс билан нурлантирилган намунадаги ТЛ чўққиларининг максимумлари  $\gamma$ -нурлари билан нурлатилган намуналардаги чўққилар билан мос келади. Бу максимуми 155 ва 275 °С да жойлашган чўққиларга тегишли. Нейтронлар флюенсининг ошиши билан ( $10^{18} \div 10^{20}$  н/см<sup>2</sup>) юқорида қайд қилинган ТЛ чўққиларнинг интенсивлиги камайиб, юқори ҳароратли областларда янги чўққилар пайдо бўлади.

Реакторда нурлантирилган намуналарнинг ЭПР спектрларини ўрганиш шуни кўрсатдики, бу ерда ҳам  $\gamma$ -нурланишидан сўнг ҳосил бўлган  $g=2,0012$  ва  $g=4,3$  сигналлар кузатилади. Сигналларнинг интенсивлиги  $\gamma$ -нурланишидан сўнг ҳосил бўлган сигналлар интенсивлигидан анча юқори. Бошқа парамагнит ютилиш сигналлари кузатилмади. Айтиш лозимки,  $\gamma$ -нурларининг бир-бирига мос дозаларида  $g=2,0012$  сигналига тегишли парамагнит марказлар концентрацияси  $^{60}\text{Co}$  манбасининг  $\gamma$ -нурлари билан нурлантирилгандагига қараганда реакторнинг  $n$ - $\gamma$ -нурланишидан ҳосил бўладиган  $\gamma$ -нурланиши ҳолатида анча юқори экан.

Реакторда нурлантирилган намуналарнинг ДҚ спектрларини ўрганиш шуни кўрсатдики, бу ерда юқорида қайд қилинган ютилиш полосаларидан ташқари бошқа ютилш полосалари ҳам пайдо бўлар экан (4-расм, 1-эгри чизик). УБ соҳасида, максимуми 248 нм да янги ютилиш полосаси пайдо бўлади. Адабиётлар таҳлили шуни кўрсатдики, бу полоса кўпгина силикат ва кварц шишаларида кузатилади. У кислород вакансияси билан боғлиқ. Кислород вакансиясининг  $\equiv\text{Si}-\text{Si}\equiv$  ҳосил бўлиши икки  $E^1$ -марказнинг бирлашиши  $\equiv\text{Si}^*$  (икки  $\equiv\text{Si}^{3+}$  даги боғланишнинг кўчиши) ёки нейтрон нурланишида боғламдан кислород атоми бевосита уриб чиқариш туфайли ҳосил бўлиши мумкин.

Кўриниш соҳасида ва ИК-чегарасига яқинроқ соҳада манзара сал бошқачароқ. Бу ерда фақат максимуми 400 нм бўлган полосадан бошқа яққол кўринадиган полоса мавжуд эмас. Бирок, бу ердаги ютилиш бир неча полосанинг йиғиндисидан (суперпозициясидан) иборат эканлигини кўриш мумкин. Ҳар бир ютилиш полосасини аниқлаш учун биз бу соҳадаги спектрни гауссианларга ажратдик (4-расм, 2-эгри чизик). Гауссианларга ажратиб иденти-

фикация қилингандан сўнг, бу соҳада ютилиш максимумлари 389, 462, 542 ва 618 нм да бўлган, V-марказнинг тўрт туридан ташкил топгани намоён бўлди. Ютилиш соҳасидаги максимуми 618 нм полоса БКА га тегишли.



**4-расм. СК-1 стеатит керамикаси диффузиявий қайтишининг  $\gamma$ -ва  $n$ - $\gamma$ -нурлантирилган айирма спектрлари (1-эгри чизик ( $\Delta R = R_\gamma - R_{n-\gamma}$ ) ва уларни кўриниш областда гауссианларга ажратгандан сўнги натижа 2-эгри чизик)**

БКА нинг ўзига ҳос хусусияти – унинг максимумлари 260 ва 620 нм да жойлашган ютилиш полосалари ва 660 нм жойлашган люминесценцияга эга эканлигидадир. Бу ютилиш полосалари  $\gamma$ -нурлари билан нурлантирилганда ҳам вужудга келади, аммо юқори дозаларда ( $\geq 10^9$  Р)  $\gamma$ -нурлари билан нурлантирилганда уларнинг интенсивлиги жуда кичик. БКА нинг ҳосил бўлиши  $\equiv \text{Si-O-Me}$  боғланишдан Me нинг кетиши ва  $\equiv \text{Si-O}^-$  боғланишнинг пайдо бўлиши билан боғлиқ бўлиши мумкин.  $\gamma$ -нурлари билан нурлантирилган намуналарда V-марказлар ҳосил бўлиш самарадорлиги БКА ҳосил самарадорлигига нисбатан жуда катта эди. Ютилиш соҳасининг максимуми 389 нм да бўлган полоса  $\text{O}^- \text{-Mg}$  боғланиш билан боғлиқ (MgO октаэдридаги катион вакансияси). Стеатит керамикасининг кристалл ҳамда шишасмон фазалардан иборатлиги ва мураккаб химиявий таркибга эгаллиги туфайли қолган икки 462 ва 542 нм ютилиш марказларини идентификациялаш, яъни табиатини аниқлаш имкони бўлмади. Лекин, бу ютилиш полосалари ҳам бевосита V-турдаги ғовак марказларга тегишли ва улар  $\text{O}^- \text{-Me}$  ҳолатлар билан боғлиқдир, деб тахмин қилишимиз мумкин.

## ХУЛОСА

Шундай қилиб,  $^{60}\text{Co}$  манбасининг гамма- ва реакторнинг  $n$ - $\gamma$ -нурланишларининг СК-1 стеатит керамикасига таъсирида ҳосил бўладиган радиациявий

нуқсонларни комплекс ўрганишлар асосида қуйидаги хулосаларни айтиш мумкин:

1. СК-1 стеатит керамикасининг оптикавий хусусиятларини (ТЛ, ДҚ) ва ЭПР характеристикаларини ўрганиш асосида шу нарса аниқландики,  $^{60}\text{Co}$  манбаси гамма нурларининг юқори дозаларида бу керамикада радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлиб, улар асосан кристалл ва шишасимон фазалар чегарасида содир бўлади.

2. Силжиган атомлар миқдорини ҳисоблаш ва уларни илмий адабиётлардаги натижалар билан таққослаш кўрсатадики,  $\gamma$ -нурлари таъсирида радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлиши асосан ноэластик механизм остида кечади.

3. ДҚ спектрларини ўрганиш асосида хулоса қилиш мумкинки,  $\gamma$ -нурланишидан сўнг УБ соҳасида пайдо бўладиган максимумлари 220, 248 ва 260 нм бўлган ютилиш полосалари  $E^1$ -марказ, кислород вакансияси ва тетраэдрик координацияда жойлашган  $\text{Fe}^{3+}$  атомлари билан боғлиқ экан. Кўриниш соҳасидаги максимумлари 400÷550 нм полосалар турли ҳил V-марказлар билан боғлиқ.

4. Нурлантирилган намуналар қиздирилганда максимумлари 220 ва 260 нм да бўлган ютилиш полосаларининг ҳароратдан боғлиқлик графигида 800÷900  $^{\circ}\text{C}$  ДҚ коэффициенти-R нинг кескин ўзгариши кузатилиб, бу ҳол кристалл фаза бўлмиш метасиликат магнийда– $\text{MgSiO}_3$ , полиморф ўзгаришлар, яъни протоэнстатитнинг ортиши ва шишасимон фазанинг қисман кристалланиши билан боғлиқдир. Шундай ўзгаришлар ДҚ коэффициенти-R нинг УБ ва кўриниш соҳасида ҳам ўзгаришга олиб келади.

5. Юқори ҳароратларда (900÷1000  $^{\circ}\text{C}$ ) оксидловчи ва қайтарилувчи муҳитларда намуналарга термик ишлов бериш натижалари кўрсатадики, ТЛ спектрларида кузатиладиган, максимумлари 155 ва 275  $^{\circ}\text{C}$  бўлган чўққиллар ғовак марказлари билан боғлиқдир.

6. СК-1 керамикасида кузатиладиган люминесценцияси бевосита марганец  $\text{Mn}^{2+}$  ионлари билан боғлиқ. Люминесценциянинг паст ҳароратларда (<200К) камайиши электрон уйғонишларининг автолокализацияси билан боғлиқ бўлиш мумкин.

7. Гамма-нурлари билан ва реакторнинг  $n$ - $\gamma$ -нурлари билан нурлантирилган СК-1 керамикаларини ўзаро таққослаш натижасида ўрганиш қуйидагиларни айтиш имконини беради: реакторда нурлантириш  $\gamma$ -нурлари билан нурлантиришга нисбатан, сифат жиҳатидан янги, яъни БКА лари, кислород вакансиялари типидagi нуқтавий нуқсонларни ҳосил қилади. Реакторнинг  $n$ - $\gamma$ -нурларида нурлантирилгандан сўнг  $g=2,0012$  ва  $g=4,3$  парамагнит ютилиш сигналлари интенсивлигининг ортиши ҳам кузатилади. Айнан шундай қонуният ДҚ спектрларида УБ соҳасидаги 220 ва 260 нм ютилиш полосалари ва кўриниш соҳасидаги максимуми 400÷500 нм бўлган ютилиш полосаларда ҳам кузатилади.

## ЧОП ЭТИЛГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ

1. Гасанов Э.М., Ким Ген Чан., Саидахмедов К.Х. Воздействие большой дозы  $\gamma$ -облучения на стеатитовую керамику // □□ Атомная энергия.–Москва, 1996.– Т.80. Вып.2.–С.123-126.
2. Гасанов Э.М., Ким Ген Чан., Саидахмедов К.Х. Спектры оптического поглощения облученной стеатитовой керамики //□□ Атомная энергия.–Москва, 1998.– Т.85. Вып3.– С.258-259.
3. Ашуров М.Х., Гасанов Э.М., Ким Ген Чан., Нуритдинов И., Саидахмедов К.Х. Люминесценция  $\gamma$ -облученной стеатитовой керамики // Неорганические материалы. - Москва, 2005.- Т41, №2. –С.250-253.  
Ashurov M.Kh., Gasanov E.M., Kim Gen Chan, Nuritdinov I., Saidakhmedov K.Kh. Luminescence of gamma-irradiated steatite ceramics //Inorganic materials. – Pleiades Publishing, 2005.– Vol. 41, №2 –P.199-202.
4. Ашуров М.Х., Гасанов Э.М., Ким Ген Чан., Нуритдинов И., Саидахмедов К.Х., Амонов М.З. Механизм радиационного дефектообразования в стеатитовой керамике СК-1 //□ Узбекский физический журнал. –Ташкент, 2008. –Т.10, №1.–С.66-68.
5. Муминов М.И., Ким Ген Чан., Саидахмедов К.Х. Радиационное изменение свойств стеатитовой керамики // □□ Физика и химия твердого тела: Тез. докл. Второй Дальневосточной школы, 1988.– Благовещенск, 1988. – С.23.
6. Гасанов Э.М., Ким Ген Чан., Саидахмедов К.Х. Дефектообразование в стеатитовых керамиках при высокодозном  $\gamma$ -облучении□ // Физика твердого тела и новые области ее применения: Тез.докл. II Респ. конф. май 1990.– Караганда, 1990.– С.202.
7. Гасанов Э.М., Ким Ген Чан, Саидахмедов К.Х. Особенности радиационных изменений свойств стеатитовых керамик // Физика и химия твердого тела: Тез. докл. III Международной школы-симпозиума, 1991.–Благовещенск, 1991.– С.47.
8. Kim Gen Chan., Saidakhmedov K.Kh., Gasanov E.M. Radiation effects in insulating ceramics basing on  $MgSiO_3$  // 6<sup>th</sup> International Conference: Abstracts book, June 1991.– Wiemar, Germany, 1991.–P.124.
9. Гасанов Э.М., Ким Ген Чан., Саидахмедов К.Х., Хайруллин И.И. Радиационные дефектообразование в стеатитовой керамике при больших дозах гамма-облучения // Препринт ИЯФ АН РУз.–Ташкент: ИЯФ АН РУз, 1995. -№ P-9-628.–12с.
10. Гасанов Э.М., Ким Ген Чан, Саидахмедов К.Х. Влияние термической обработки на оптические свойства стеатитовой керамики // The second Uzbekistan Conference «Modern problems of nuclear physics»: Тез. докл. Респ. конф. 9-12 сентября 1997 в Самарканде. – Ташкент: ИЯФ АН РУз, 1997.–P.175.
11. Гасанов Э.М., Ким Ген Чан, Саидахмедов К.Х. Влияние ионизирующего излучения на оптические свойства стеатитовой керамики СК-1 // II Между-

народная конференция «Ядерная и радиационная физика»: Тез. докл. Межд. конф. 7-10 июня 1999. – Алматы, 1999. –С.202.

12. Ashurov M. Kh., Gasanov E.M., Kim Gen Chan., Saidakhmedov K. Kh., Avezov A.D. The influence of ionizing radiation on luminescent properties of magnesium ceramics SK-1 // The Fourth International Conference «Modern problems of nuclear physics»: Abstracts book, September 25-29, 2001. – Tashkent, 2001.– P.189.

13. Ashurov M. Kh., Gasanov E.M., Kim Gen Chan., Saidakhmedov K.Kh. Influence of high-temperature annealing on the refractive and structure properties of magnesium ceramics // The Fifth International Conference «Modern problems of nuclear physics»: Abstracts book, 12-15 August, 2003. –Tashkent: INP AS Uz, 2003. – P.207.

14. Гасанов Э.М., Нуритдинов И., Саидахмедов К.Х. Механизм радиационного дефектообразования в стеатитовой керамике СК-1 // V Международная конференция «Ядерная и радиационная физика»: Тез. докл. Межд. конф. 26-29 сентября 2005. – Алматы, 2005. - С.364.

15. Ashurov M. Kh., Gasanov E.M., Kim Gen Chan., Nuritdinov I., Saidakhmedov K. Kh. On the nature of capture centers in irradiation ceramics SK-1 // The sixth International Conference «Modern problems of nuclear physics»: Abstracts book, September 19-22, 2006. –Tashkent: INP AS Uz, 2006. –P.178.

16. Ashurov M. Kh., Amonov M.Z., Gasanov E.M., Nuritdinov I., Saidakhmedov K. Kh. Mechanism of radiation defect formation in steatite ceramics // «Ядерная и радиационная физика»: Тез. докл. VII Межд. конф. 8-11 сентября 2009. -Алматы, 2009. – P.167.

17. Ashurov M.H., Amonov M.Z., Gasanov E.M., Nuritdinov I., Saidakhmedov K.Kh. Radiation Defect-Formation in Steatite Ceramics // The XII International Conference “Modern Problems of Nuclear Physics”: Abstracts book, September 22-25, 2009. - Tashkent, 2009. – P. 180.



Физика-математика фанлари номзоди илмий даражасига  
талабгор **Саидахмедов Қахрамон Ҳусановичнинг**  
01.04.07 - конденсатланган ҳолат физикаси ихтисослиги бўйича  
«СК-1 стеатит керамикасида радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлиши»  
мавзусидаги диссертацианинг

### **РЕЗЮМЕСИ**

**Таянч сўзлар:** стеатит керамикаси, радиация, структуравий нуқсон, кристалл фаза, шишасимон фаза, термо-, фото-, рентген- ва гаммалюминесценция, электрон парамагнит резонанси-ЭПР, диффузион қайтиш-ДҚ,  $\gamma$ - ва  $n$ - $\gamma$ -нурланиш,  $E^1$ -марказ, боғланмаган кислород атоми (БКА), V-туридаги ғовак бўялиш марказлари:  $V^{2-}$ ,  $V^-$ ,  $V^0$ .

**Тадқиқот объекти:** СК-1 стеатит керамикасида юқори дозали  $\gamma$ - ва  $n$ - $\gamma$ -реактор нурлантирилишида радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлиши.

**Ишнинг мақсади:**  $^{60}\text{Co}$  гамма манбаси ва  $n$ - $\gamma$ -реактор нурлари таъсирида СК-1 стеатит керамикасида ҳосил бўладиган радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлиш жараёнларининг қонуниятларини ўрганиш.

**Тадқиқот методлари:** термо-, гамма-, рентгено- и фотолюминесценция, ЭПР, рентгенофазавий ва активациявий таҳлил.

**Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги.** Илк бор комплекс усуллар билан СК-1 стеатит керамикасида радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлиш жараёнлари ўрганилди. Нуқсонлар ҳосил бўлиши асосан ноэластик тўқнашувлар механизмга асосланганлиги ҳамда кристалл ва шишасимон фазалар чегарасида содир бўлиши кўрсатилди. Радиациявий нуқсонлар табиати идентификация қилинди ва  $\text{Mn}^{2+}$  ионининг рекомбинациявий люминесценциясининг уйғотилиш, нур чиқариш ва сўниш механизмлари ўрганилди. Юқори ҳароратларда ( $T_{\text{отж}} \geq 850$  °C) СК-1 стеатит керамикасининг оптикавий хусусиятларининг кескин ўзгариши бевосита кристалл фазадаги фаза ўтишлари ва қисман шишасимон фазанинг кристалл фазага ўтишлари билан боғлиқлиги кўрсатилди. Реакторда нурлантирилган керамик намуналарда  $\gamma$ -нурлари билан нурлатилган намуналарга қараганда кўшимча структуравий нуқсонлар, жумладан: боғланмаган кислород атоми, кислород вакансияси ва ҳар-хил турдаги V-марказлари ҳосил бўлиши кўрсатилди.

**Амалий аҳамияти:** Олинган натижалар нафақат мураккаб минералогик-фазага эга бўлган керамик материалларда кечадиган радиациявий жараёнлар механизмини аниқлашда, балки бошқа мураккаб кислородли бирикмаларда кечадиган радиациявий жараёнларни ўрганиш учун ҳам қўлланилиши мумкин.

**Тадбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги:** Олинган натижалар асосан атом энергетикасида, радиациявий физика соҳасида, фан ва техниканинг турли тармоқларида кенг қўлланилиши мумкин.

**Қўлланилиш соҳаси:** атом энергетикаси, конденсатланган ҳолат физикаси, радиациявий физика, материалшунослик ва юқори энергиялар физикаси.

## РЕЗЮМЕ

диссертации **Саидахмедова Кахрамона Хусановича** на тему:  
«Радиационное дефектообразование в стеатитовой керамике СК-1»  
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния

**Ключевые слова:** Стеатитовая керамика, радиация, структурный дефект, кристаллическая фаза, стекловидная фаза, термо-, фото-, рентгено- и гаммалюминесценция, электронный парамагнитный резонанс-ЭПР, спектры диффузного отражения-ДО,  $\gamma$ -,  $n$ - $\gamma$ -облучение,  $E^1$ -центр, немостиковый атом кислорода (НАК), дырочные центры окраски V-типа:  $V^{2-}$ ,  $V^-$ ,  $V^0$ .

**Объекты исследования:** объектом исследования является дефектообразование в стеатитовой керамике СК-1 при высокодозном  $\gamma$ - и  $n$ - $\gamma$ -реакторном облучении.

**Цель работы:** установление закономерностей процессов радиационного дефектообразования в стеатитовой керамике СК-1 при воздействии  $\gamma$ -излучения  $^{60}\text{Co}$  и реакторного  $n$ - $\gamma$  излучения.

**Методы исследования:** термо-, гамма-, рентгено- и фотолюминесценция, ЭПР, рентгенофазный и активационный анализы.

**Полученные результаты и их новизна:** Впервые комплексным методом исследованы процессы радиационного дефектообразования в стеатитовой керамике СК-1. Показано, что радиационные дефекты, наводимые в керамике СК-1, обусловлены подпороговым механизмом и происходят, в основном, на границах раздела между кристаллической фазой и стеклофазой. Идентифицирована природа радиационных дефектов и предложен механизм возбуждения, излучения и тушения рекомбинационного свечения иона  $\text{Mn}^{2+}$ . Установлено, что деградация оптических свойств керамики СК-1 при высокотемпературном отжиге ( $T_{\text{отж}} \geq 850$  °C) обусловлена фазовыми переходами в кристаллофазе и частичной кристаллизацией стеклофазы. При реакторном облучении в стеатитовой керамике СК-1 создаются новые структурные дефекты, такие как немостиковый атом кислорода и вакансии кислорода, а также различные типы V- центров, по сравнению с  $\gamma$ -облученными образцами.

**Практическая значимость:** Полученные результаты значительно расширяют представление о механизмах радиационно-стимулированных процессов в сложных оксидных соединениях, к которым относятся керамические диэлектрики со сложным фазово-минералогическим составом.

**Степень внедрения и экономический эффективность:** Результаты могут быть использованы в атомной энергетике, в радиационной физике и в других областях науки и техники.

**Область применения:** Физика конденсированного состояния, атомная энергетика, радиационная физика, материаловедение и физика высоких энергий.

## RESUME

Thesis of **Saidakhmedov Kakhramon Khusanovich**

on the scientific degree competition of the doctor of philosophy in Physics and Mathematics sciences speciality 01.04.07 – Physics of condensed matter subject: “Formation of defects in steatite ceramics SK-1 under influence of radiation”

**Key words:** steatite ceramics, radiation, structure defect, crystal phase, glassy phase, thermo-, photo-, x-ray- and gamma-luminescence, electron paramagnet resonance (EPR), diffuse reflection (DR) spectra,  $\gamma$ -, n- $\gamma$ -irradiation,  $E^1$ -centre, non-bridging oxygen hole centers (NBOHC), V-type hole centers,  $V^{2-}$ ,  $V^-$ ,  $V^0$ .

**Object of research:** the defects formation in steatite ceramics SK-1 under high-dose  $\gamma$ - and n- $\gamma$ -reactor radiation.

**Purpose of work:** the purpose of this work is to establish the mechanisms of radiation-induced defect formation processes in the steatite ceramics SK-1 under  $\gamma$  - radiation with the  $^{60}\text{Co}$  source and the reactor n- $\gamma$  radiation.

**Methods of research:** TL, GL, X-ray luminescence and photo-luminescence, EPR, X-ray structure and activation analysis.

**The results obtained and their novelty:** In the work the nature of radiation defects is identified and mechanism of  $\text{Mn}^{2+}$  luminescence is proposed. For the first time by using the complex method the processes of radiation-induced defects formation were studied in steatite ceramics SK-1. It was demonstrated that the radiation defects induced in SK-1 ceramics were caused by sub-threshold mechanism and mainly took place at the interface of crystal and glassy phases. Ions excitation, emission and quenching of recombination luminescence are verified. It is established that the degradation of optical properties of SK-1 ceramics at high temperature annealing ( $T_{\text{ann}} \geq 850$  °C) is caused by the phase transitions in crystal phase and partial crystallization of glassy phase. In the steatite ceramics SK-1 under the reactor irradiation new structure defects, like non-bridging oxygen hole centers (NBOHC) and different types of V- centers are formed as compared to the  $\gamma$ -irradiated reference sample.

**Practical value:** The obtained results significantly expand the variety of peculiarities in mechanisms of radiation-induced processes in complex oxide compounds which are the ceramics insulators with complex phase-mineralogical composition.

**Degree of embed and economic effectivity:** The results can be implemented in the atomic energy, radiation physics and other fields of science and technology.

**Field of application:** physics of condensed state, atomic energy, radiation physics, material sciences and high-energy physics.

Тадқиқотчи:

Саидахмедов Қ.Х.