

**АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ**

На правах рукописи
УДК 539.2: (535.34.535.37)

САИДАХМЕДОВ КАХРАМОН ХУСАНОВИЧ

**РАДИАЦИОННОЕ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ В
СТЕАТИТОВОЙ КЕРАМИКЕ СК-1**

01.04.07 —Физика конденсированного состояния

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Ташкент – 2011

Работа выполнена в Институте ядерной физики АН РУз

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

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук Ташметов
Манноб Юсупович

кандидат физико-математических
наук Сулейманов Султан Хамидович

Ведущая организация: Национальный Университет им. Мирзо Улугбека

Защита состоится «___» _____ 2011 г. в ___ часов на заседании
Объединенного специализированного совета Д.015.23.01 при Институте
электроники имени У.А. Арифова и Институте ядерной физики Академии наук
Республики Узбекистан, по адресу: г. Ташкент, пос. Улугбек, ИЯФ АН РУз.
тел: (8-10-998-71) 2893464, факс (8-10-998-71) 1503080

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Института ядерной
физики АН РУз и Фундаментальной библиотеке АН РУз.

Автореферат разослан «___» _____ 2011 г.

Ученый секретарь
Объединенного специализированного совета
доктор физико-математических наук, профессор Хидиров И.

Актуальность работы. В настоящее время трудно назвать область человеческой деятельности, которая, в той или иной мере, не была бы связана с керамикой. Отмечается ее использование в энергетике, информатике, производстве основных промышленных материалов, медицине, машиностроении, радиотехнике, вакуумной и космической технике и других отраслях народного хозяйства. Область применения керамических материалов расширяется с каждым годом. Особый интерес к этому материалу обусловлен тем, что по сравнению с другими диэлектрическими материалами, например, монокристаллами и стеклами, он более устойчив, а по способу получения и изготовления менее трудоёмок.

Керамика, применяемая для специальной аппаратуры и различных устройств, работает при высоком напряжении (1150 кВ) и больших токах, высокой частоте электрического поля, механических нагрузках, вибрации, высоких температурах (~ 500 °C). Так как в будущем основная доля энергетической промышленности будет связана с атомной энергетикой, то естественно её роль будет также велика и в атомной и термоядерной энергетике. В данной отрасли, в некоторых аспектах, керамика является незаменимым материалом и применяется давно. Например, изделия из керамики эффективно работают в оболочке герметичной зоны локализации аварии на АЭС в условиях комплексного воздействия дезактивирующих растворов и интенсивных гамма-излучений, в качестве противопожарных барьеров в кабельных коридорах, в зонах повышенной радиации атомного реактора при высоких температурах, в условиях мощных потоков нейтронов и других видов радиации.

Многие свойства реальных твердых тел определяются их структурными особенностями, в том числе дефектностью структуры, поэтому большой научный и практический интерес представляет изучение закономерностей создания, накопления, преобразования и залечивания радиационных дефектов и установление их природы. В связи с этим исследования радиационно стимулированных процессов и явлений в керамических диэлектриках с разупорядоченной структурой на основе сложных оксидов являются актуальными как с научной, так и с практической точек зрения.

Степень изученности проблемы. В литературе имеются несколько работ, посвященных изучению радиационных дефектов в керамических диэлектриках (Белоусов В.М., Ким Ген Чан, Мухамеджанов М.А. и др.). Большинство работ посвящено изучению механических, структурных, электрофизических (удельной и объемной электропроводимости) и дилатометрических свойств керамики после и в процессе облучения ионизирующими излучениями (Костюков Н.С., Муминов М.И., Астапова Е.С., Ванина Е.А., Rigterink M. D и др.).

Многие свойства изучались, в основном, как технический параметр. Практически отсутствуют работы, которые касались бы изучения природы радиационных дефектов в керамических диэлектриках, как в процессе облучения,

так и после него. Кроме того, наличие в керамике кристаллической и аморфной фаз ставит вопрос об их роли в процессах дефектообразования. Существующие работы, посвященные изучению радиационных дефектов в керамиках, не носят систематического характера. За исключением отдельных работ, мало внимания уделяется изучению природы радиационных дефектов в керамиках.

Поэтому исследование радиационных явлений в керамических материалах с неупорядоченной структурой на основе сложных оксидов является очень важной задачей. Помимо решения прикладных задач, эти исследования дадут ценную информацию о механизмах радиационного дефектообразования, эффектах воздействия радиации на свойства этих материалов. В конечном итоге полученные результаты могут быть успешно использованы в атомной технике и ядерной энергетике. Кроме того, результаты этих исследований полезны не только специалистам, но и для целенаправленного управления свойствами керамики.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР. В основу диссертационной работы положены результаты научных исследований, выполненных в соответствии с научно-исследовательскими темами лаборатории радиационно–модифицированных и неупорядоченных структур и отдела радиационной физики оптических материалов ИЯФ АН РУз «Радиационно стимулированные явления в технических керамиках и высокотемпературных сверхпроводниках», № гос.регистрации 01970005179 (1997-1999г.); «Радиационная модификация структуры и свойств многокомпонентных оксидных материалов», № гос.регистрации 01.200009679 (2000-2002г.); «Нестационарные радиационные процессы в волоконно-оптических и сцинтилляционных материалах», № контракта Ф-2.1.13 (2003-2007г).

Цель исследования. Установление закономерностей процессов радиационного дефектообразования в стеатитовой керамике СК-1 с применением оптических, парамагнитных и рентгеновских методов исследования.

Задачи исследования. В соответствии с указанной целью поставлены и решены следующие задачи:

1. Исследовать влияние высокодозного ($>10^9$ Р) γ -облучения на оптические свойства стеатитовой керамики СК-1;
2. Для определения характера радиационного дефектообразования изучить дозовые зависимости ($10^5 \div 10^{10}$ Р) накопления радиационных дефектов;
3. Идентифицировать природу обнаруженных дефектов в керамике СК-1;
4. Изучить воздействие окислительного и восстановительного отжига на оптические свойства стеатитовой керамики;
5. Изучить воздействие реакторного облучения ($10^{17} \div 10^{20}$ н/см²) на оптические и парамагнитные свойства исследуемых керамик.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования в настоящей работе является дефектообразование в стеатитовой керамике СК-1 при высокодозном γ -облучении и п- γ -реакторном облучении. Предметом исследования являются закономерности процессов радиационного дефектообразования в стеатитовой керамике СК-1.

Методы исследования. Для решения поставленных задач применялись методы диффузного отражения (ДО), фото-(ФЛ), термо- (ТЛ), гамма- (ГЛ), рентгенолюминесценции (РЛ), электронного-парамагнитного резонанса (ЭПР), рентгенофазовый и активационный анализы.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Под воздействием высокодозного ($D_\gamma > 10^9$ Р) гамма-облучения в керамике СК-1 образуются такие структурные дефекты, как E^1 -центры и V-центры. 2. Радиационные дефекты, наводимые в керамике СК-1 γ -лучами, обусловлены подпороговым механизмом, т.е. безизлучательным распадом электронных возбуждений и происходят, в основном, на границах раздела между кристаллической фазой и стеклофазой.

3. Деградация оптических свойств керамики СК-1 при высокотемпературном отжиге ($T_{отж} \geq 850$ °С) обусловлена фазовыми переходами в кристаллофазе и частичной кристаллизацией стеклофазы.

4. Идентификация природы радиационных дефектов, таких как E^1 -центры, НАК, V-центры, вакансии кислорода, и предложенные механизмы возбуждения, излучения и тушения рекомбинационного свечения ионов Mn^{2+} , обусловленные автолокализацией электронных возбуждений (АЭВ) и рекомбинацией электронно дырочных пар.

5. При реакторном облучении в стеатитовой керамике СК-1 создаются новые структурные дефекты типа немостикового атома кислорода (НАК) и вакансии кислорода, в отличие от гамма-облученных образцов, что обусловлено смещением нейтронами ионов Mg и Si из узлов кристаллической решетки.

Научная новизна:

1. Впервые применены методы ТЛ, ДО и ЭПР для исследования радиационных центров окраски и люминесценции магнезиальной керамики СК-1. На основе систематических исследований было установлено, что под воздействием высокодозного ($>10^9$ Р) γ -облучения в керамике СК-1 образуются структурные дефекты, такие как E^1 -центры и V-центры. Расчеты по определению количества смещенных атомов при γ -облучении показали, что дефектообразование идет в основном по подпороговому механизму.

2. Исследовано влияние n - γ -реакторного ($10^{17} \div 10^{20}$ н/см²) облучения на стеатитовую керамику СК-1. Установлено, что при реакторном облучении, по сравнению с γ -облучением, создаются качественно новые структурные дефекты типа немостикового атома кислорода (НАК) и вакансии кислорода.

3. Проведена идентификация природы таких радиационных дефектов, как

5

E^1 -центры, НАК, вакансии кислорода и разновидности V-центров. Показаны причины деградации оптических свойств, обусловленной фазовыми переходами в кристаллической фазе и кристаллизацией стеклофазы керамики СК-1 после высокотемпературного отжига.

4. Установлена природа центров свечения, проявляющихся в пиках ТЛ и ГЛ, которые обусловлены передачей энергии электронных возбуждений (ЭЭВ) на ионы Mn^{2+} , а также рекомбинацией зарядов на ионах Mn.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Результаты исследований, полученные при выполнении настоящей работы, значительно расширяют представления о механизмах радиационного дефектообразования. Они важны для установления природы различных радиационно стимулированных процессов в других сложных оксидных материалах, имеющих упорядоченные и неупорядоченные структуры. Эти результаты могут быть использованы специалистами, занимающимися такими материалами и, кроме того, позволяют разработать практические рекомендации по применению изделий из магнезиальной керамики СК-1 в условиях повышенной радиации.

Реализация результатов. На основе полученных результатов магнезиальную керамику СК-1 можно рекомендовать как материал, радиационно-стойкий к воздействию γ -лучей до дозы 10^9 Р.

Апробация работы. Результаты работы представлялись и обсуждались на II и III Дальневосточной школе-симпозиуме по ФХТТ, Благовещенск, 1988 и 1991гг.; II Республиканской конференции «Физика твердого тела и новые области ее применения», Караганда, 1990г.; Radiation effects in insulators-6, Weimar, Germany, 1991г.; II Республиканской конференции «Современные проблемы ядерной физики», Самарканд, 1997г.; II, V, VII Международных конференциях «Ядерная и радиационная физика», Казахстан, Алма-Ата, 1999, 2005 и 2009гг.; V Международной конференции «Современные проблемы ядерной физики», Самарканд, 2003г.; IV, VI, VII Международных конференциях «Современные проблемы ядерной физики», Ташкент, 2001, 2006 и 2009гг.

Опубликованность результатов. По материалам диссертации опубликовано 17 научных работ, из них 4 журнальные статьи, двенадцать тезисов докладов на международных и республиканских конференциях и один препринт.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 96 наименований. Она

изложена на 120 страницах, включая 31 рисунок и 4 таблицы.

Личный вклад соискателя. Вклад соискателя в работе является определяющим. Автор принимал непосредственное участие при постановке задач и их решении, в анализе полученных результатов. Обобщение результатов и основные выводы, приведенные в заключительном разделе диссертации, сформулированы лично соискателем.

6

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, цели и задачи исследования, научная новизна и практическая ценность результатов, полученных в диссертации, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе изложены сведения о значимости керамических материалов, применяемых в различных отраслях народного хозяйства, в том числе в атомной и термоядерной энергетике. Приведен обзор литературных данных по воздействию радиации и изучению радиационных дефектов в керамических материалах, в том числе в стеатитовой керамике СК-1. Описываются физико-химические свойства и фазово-минералогический состав стеатитовой керамики СК-1. Приведен литературный обзор по радиационно-оптическим свойствам простых и сложных оксидов (MgO , SiO_2 , Al_2O_3), которые составляют основу стеатитовой керамики СК-1.

Во второй главе описаны методики экспериментов. Для проведения экспериментов по изучению люминесцентных свойств: термо-, фото-, рентген- и γ -люминесценции (ТЛ, ФЛ, ХЛ и ГЛ), образцы вырезались в виде пластинок размером $10 \times 10 \times 1$ мм³, которые тщательно шлифовались и полировались до получения оптической просветленной поверхности. Перед каждым оптическим измерением поверхностное загрязнение удалялось чистым спиртом.

Для решения поставленных задач образцы керамик СК-1 облучались γ -лучами на источнике ^{60}Co бассейнового типа в ИЯФ АН РУз при мощностях $100 \div 3500$ Р/с дозами от 10^4 до $1,5 \cdot 10^{10}$ Р. Облучение проводилось при температуре канала $\sim 30 \div 70$ °С и при температуре жидкого азота (77К). Нейтронное облучение образцов проводилось в запаянных кварцевых ампулах в водозащитном канале реактора ВВР-СМ ИЯФ АН $\square$ РУз при температуре $40 \div 50$ °С и мощности потока тепловых нейтронов $\square$ $5 \cdot 10^{13}$ н/см² (соотношение быстрых нейтронов к тепловым было 1:10), $\square$ флюенсами $10^{17} \div 10^{20}$ н/см². Исследования облученных нейтронами образцов керамики проводились после спада радиоактивности до допустимого уровня.

Термолюминесценция (ТЛ) образцов измерялась в диапазоне температур $\square$

25÷450 °С при скорости нагрева 0,1 град.с⁻¹(6 град/ мин). Регистрация свечения производилась $\square$ 1. фотоумножителем ФЭУ-39, сигнал с которого записывался на двухкоординатный самописец типа Н-307/

Гаммалюминесценция (ГЛ) и спектральный состав свечения в пиках ТЛ измерялись в интервале длин волн 200÷800 нм. Для этих целей использовали монохроматоры ЗМР и УМ-2 с автоматической разверткой спектра. Регистрация спектров свечения производилась фотоумножителями ФЭУ-39 или ФЭУ-51.

Рентгенолюминесценция (РЛ) и фотолюминесценция (ФЛ) исследуемых образцов регистрировались на установке, собранной на базе рентгеновского аппарата ИРИС-3 и двух монохроматоров. Возбуждение ФЛ образцов производилось дейтериевой лампой ДДС-30. В качестве источника

7

рентгеновского излучения использовалась водоохлаждаемая трубка типа БСВ с медным антикатодом. Измерения РЛ производились при напряжении 30 кВ и токе 30 мА. Свечение образцов, как при оптическом, так и при рентгеновском возбуждениях регистрировалось ФЭУ-79.

ЭПР измерения производились на спектрометре ESP-300 фирмы Брукер (Германия) при комнатной температуре в 3 см диапазоне (рабочая частота 9 ГГц). При сравнении сигналов от исследуемого образца и эталона использовался двойной прямоугольный резонатор ER-4105-DR, позволяющий проводить измерения образца и эталона при абсолютно идентичных экспериментальных условиях. Для измерения использовались образцы размером 10×1×1мм³. Дополнительные ЭПР измерения производились также на радиоспектрометре РЭ-1306 при комнатной температуре (300К), в 8 мм диапазоне (рабочая частота 37 ГГц).

Рентгеновские исследования были проведены на дифрактометре ДРОН-3М при использовании $\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$ - $\lambda = \square$ излучения (0,1542 нм), (Ni-фильтр). Рентгенограммы снимались на цельных образцах, так как при измельчении в результате механических воздействий могут произойти полиморфные превращения в кристаллической фазе стеатитовой керамики СК-1.

В третьей главе изложены основные результаты исследования образования структурных дефектов в стеатитовой керамике СК-1 под воздействием высокодозного ($>10^9$ Р) γ -облучения.

При изучении методом ТЛ γ -облученных керамик СК-1 обнаружены пики с максимумами при 155, 275 и 380 °С (рис.1, кр.1)

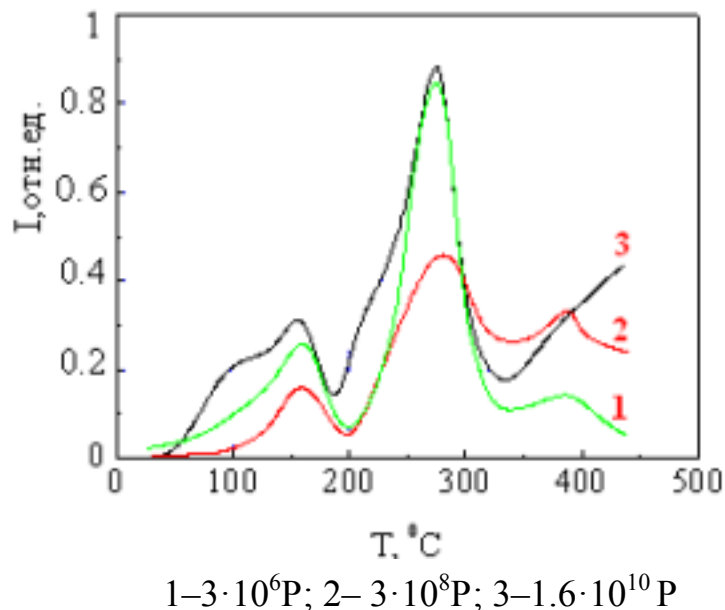


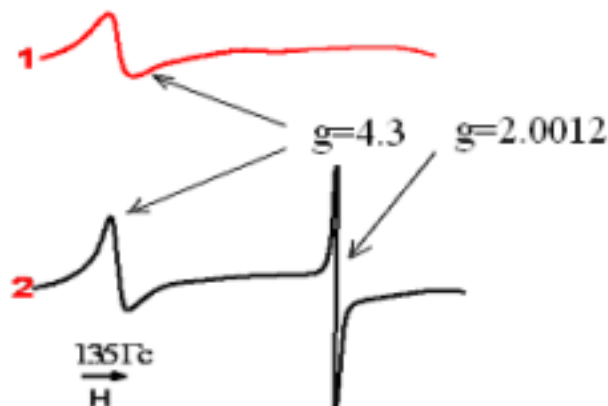
Рис. 1. Кривые ТЛ γ -облученных образцов керамики СК-1

8

Дозовая зависимость показала, что до 10^8 P наблюдается рост интенсивности всех пиков, а при дозах $\geq 10^9$ P – спад интенсивности пиков при 155 и 275 °C. Интенсивность пика с максимумом при 380 °C растет не выходя на насыщение даже при дозах γ -облучения $\geq 10^9$ P (рис.1, кривые 2,3).

Анализ экспериментальных результатов показал, что при высокодозном γ -облучении в стеатитовой керамике образуются новые дефекты, которые являются центрами локализации зарядов. Высокая температура отжига этих дефектов указывает на их структурное происхождение.

Исследования ЭПР спектров γ -облученных образцов керамик показали, что в исходном состоянии в спектрах ЭПР наблюдается только один сигнал парамагнитного поглощения с $g=4,3$, обусловленный ионами Fe^{3+} в тетраэдрической координации (рис.2, кривая 1).



1— исходный образец; 2— γ -облученный образец ($D_\gamma = 3 \cdot 10^8$ Р)

Рис. 2. Спектры ЭПР стеатитовой керамики СК-1

После γ -облучения дозой $\sim 2 \cdot 10^6$ Р наблюдается еще один сигнал парамагнитного поглощения с $g=2,0012$ (рис.2, кривая 2), интенсивность которого увеличивается без заметного насыщения даже при экспозиционной дозе $2 \cdot 10^{10}$ Р. Одновременно наблюдается и увеличение интенсивности сигнала с $g=4,3$.

С целью выяснения роли стеклофазы в радиационном дефектообразовании были изучены стекла с составом близким к составу стеклофазы в стеатитовой керамике СК-1. В этих стеклах не были обнаружены вышеуказанные пики ТЛ и сигнал парамагнитного поглощения. Из этого следует, что в процессе дефектообразования роль стеклофазы незначительна.

Была изучена взаимосвязь пиков ТЛ при 155, 275 и 380 $^{\circ}\text{C}$ с сигналом парамагнитного поглощения с $g=2,0012$. Для этого провели исследование термической стабильности ЭПР сигнала с $g=2,0012$, которое показало, что низкотемпературные пики ТЛ с максимумами при 155 и 275 $^{\circ}\text{C}$ не связаны с сигналом парамагнитного поглощения с $g=2,0012$, так как ЭПР сигнал исчезает полностью после отжига облученного образца при температуре ~ 600 $^{\circ}\text{C}$. Из

9

сравнения дозных зависимостей ТЛ и ЭПР сигнала было установлено, что рост интенсивности сигнала ЭПР с $g=2,0012$ сопровождался ростом интенсивности ТЛ в высокотемпературной области, и как показали результаты отжига, пик ТЛ с максимумом при 380 $^{\circ}\text{C}$ необратимо исчезает только после отжига облученных образцов при температуре ~ 900 $^{\circ}\text{C}$.

Различия в термической стабильности могут объясняться тем, что структурные дефекты, на которых локализуется заряд, термически стабильны до температуры 800÷900 $^{\circ}\text{C}$, а сам заряд, локализованный на дефекте, при отжиге может освобождаться при значительно меньших температурах. Если образец стеатитовой керамики облучить до дозы $\sim 2 \cdot 10^{10}$ Р и отжечь при температуре ~ 600

^0C (при которой исчезают парамагнитные центры), а затем вновь облучить до дозы $3 \cdot 10^6 \text{ Р}$, то после повторного облучения ЭПР сигнал восстанавливается, и его интенсивность становится примерно в 2,5 раза больше, чем у образца, впервые облученного до такой же дозы. После отжига при $\sim 900^0 \text{ C}$ и повторного облучения до дозы $3 \cdot 10^6 \text{ Р}$ увеличения ЭПР сигнала не происходит. Этот эксперимент также косвенно показал, что при высокодозном γ -облучении в стеатитовой керамике СК 1 образуются радиационные дефекты, которые проявляют себя в кривых ТЛ и спектрах ЭПР.

Исходя из анализа литературных данных по силикатным соединениям, кварцевым и силикатным стеклам и учитывая схожесть формы линии и параметров ЭПР сигнала с $g=2,0012$ ($\delta H=5\text{G}$), наблюдаемого нами в стеатитовой керамике СК-1, можно сделать вывод о принадлежности этого сигнала E^1 -центру. Одной из характерных особенностей этого дефекта является наличие в образцах полосы поглощения при $\lambda=215\div 230 \text{ нм}$. Поэтому следующей задачей было обнаружить радиационные дефекты типа E^1 -центров оптическим методом.

Распространенный метод исследования дефектов в твердых телах по спектрам поглощения света не пригоден для керамических объектов из-за оптической непрозрачности. Оптической характеристикой таких объектов могут быть спектры отражения, которые в общем случае зависят от коэффициента поглощения при отражении- R . Исследования спектров диффузного отражения (ДО) показали, что в исходном состоянии стеатитовая керамика СК-1 имеет белый цвет, а после облучения образцы приобретают коричневую окраску. Плотность окраски увеличивалась с ростом дозы γ -облучения. После γ -облучения в спектрах ДО наблюдаются полосы дополнительного поглощения (ПП) в УФ области с максимумами при 220 и 260 нм и с максимумами при 400÷550 нм в видимой области спектра. Интенсивности данных полос поглощения увеличивались с ростом дозы γ -облучения (рис.3, кривые 1,2,3)

Аналогичные центры окраски, поглощающие свет в области 220 и 260 нм, наблюдались в кварце, кварцевых и силикатных стеклах при облучении ядерными излучениями.

10

100	
90	$R, \% 2$
1	
80	60
70	50
	3
	40

4
30

1 2 3 4

200 250 300 400 500 600 700

λ , нм

1 - 10^7 P; 2 - 10^9 P; 3 - $1,5 \cdot 10^{10}$ P; 4 - 10^{19} н/см²

**Рис.3. Спектры диффузного отражения облученной
стеатитовой керамики СК-1**

В кристаллическом и стеклообразном кварце в области $\lambda=215$ нм E^1 -центр дает полосу поглощения, обусловленную трехкоординированным атомом кремния, захватившим электрон ($\equiv Si^\cdot$) и дающим парамагнитное поглощение с $g=2,0012$. Поэтому в стеатитовой керамике СК-1 полосу поглощения 220 нм мы приписываем E^1 -центру. В области $\lambda=260$ нм свет поглощается немостиковым атомом кислорода (НАК). Характерной особенностью НАК являются ПП с максимумами при $\lambda=260$, 620 нм и люминесценция в области 660 нм, которая наблюдается как в спектрах ГЛ, так и в спектрах ФЛ ($\lambda_{\text{воз}}=260$ нм). В спектрах ГЛ стеатитовой керамики СК-1 наблюдается полоса свечения с максимумом при $\lambda=640$ нм. Она обнаружена и в спектрах ГЛ необлученных образцов керамики, причем её интенсивность не увеличивается при γ -облучении, а при нейтронном облучении её интенсивность даже падает с увеличением флюенса. При возбуждении в полосе $\lambda=260$ нм нами не было обнаружено свечение в области 660 нм, характерное для НАК. Отсюда следует, что полоса поглощения при $\lambda=260$ нм в стеатитовой керамике СК-1 не связана с НАК (вопрос о природе обнаруженной полосы люминесценции с максимумом $\lambda=640$ нм будет рассмотрен ниже). Полоса

11

поглощения в области 260 нм во многих оксидных соединениях, содержащих примеси железа, приписывается поглощению Fe^{3+} , так как в спектрах ЭПР необлученной керамики СК-1 обнаружен сигнал парамагнитного поглощения с $g=4,3$, обусловленный ионами Fe^{3+} . Поэтому полоса поглощения с максимумом 260 нм приписывается поглощению ионами Fe^{3+} .

После γ -облучения образцов в видимой области спектра ДО наблюдается широкая полоса поглощения с максимумами при 400÷550 нм. Такие широкие полосы поглощения в видимой области наблюдаются во многих облученных оксидах и силикатах. Они связаны с дырочными центрами окраски, которые

обусловлены локализацией дырок на ионах кислорода, смежных с катионными вакансиями и примесями, замещающими катионы. Поэтому можно предположить, что дополнительное поглощение, наблюдаемое в стеатитовой керамике СК-1 в видимой области после γ -облучения, обусловлено дырочными центрами V-типа.

Изучение влияния окислительного и восстановительного отжига показало правильность нашего предположения. Для этого было изучено влияние окислительного и восстановительного отжига на оптические свойства, т.е. кривые ТЛ, спектры ДО. После окислительного отжига исходных образцов и последующего их γ -облучения дозой $\sim 10^6$ Р интенсивность высокотемпературного пика ТЛ при 380°C существенно не изменяется, а интенсивность пиков при 155°C и 275°C растет и появляется еще один пик ТЛ в интервале температур $80\div 90^\circ\text{C}$. Вакуумный отжиг, произведенный вслед за кислородным отжигом и последующим γ -облучением дозой $\sim 10^6$ Р, показал уменьшение интенсивности пиков при 155°C и 275°C и постепенное исчезновение пика при $80\div 90^\circ\text{C}$. Разностные спектры диффузного отражения термообработанных и необработанных образцов стеатитовой керамики с последующим γ -облучением дозой $\sim 10^6$ Р [$\Delta R = (R_{\text{не.обр}} - R_{\text{обр}})$] также показали, что в исходных образцах после облучения наблюдается слабое окрашивание и появляется дополнительное поглощение в области $320\div 700$ нм. В образцах, термообработанных в окислительной среде, после облучения дозой $\sim 10^6$ Р окраска значительно усиливается, появляется широкая область дополнительного поглощения, где можно выделить полосы с максимумами при $400\div 500$ нм и $500\div 600$ нм.

Известно, что окислительный отжиг может менять стехиометрию в сторону создания катионных вакансий, при последующем облучении на катионных вакансиях могут локализоваться дырки с образованием дырочных центров окраски V-типа. В частности, ими могут быть V^{2-} (ион О рядом с катионной вакансией), V^- (катионная вакансия с одной локализованной дыркой), V^0 (катионная вакансия с двумя локализованными дырками). При наличии примесей в оксидах меняется природа дырочных центров.

Все указанные центры по существу представляют собой дырочные центры, которые включают в свой состав ион O^- , находящийся в различном окружении. Вследствие различного окружения, энергия термической ионизации дырки из

такого центра может быть разной из-за разного искажения глубины дырочных ловушек.

При изучении термической стабильности ПП в УФ области с максимумами при 220 , 260 нм и в видимой области с максимумами при $400\div 500$ нм и $500\div 600$ нм был обнаружен излом температурной зависимости отражения ($R\%$) света при температурах $800\div 900^\circ\text{C}$. Это явление нельзя объяснить исходя из отжига радиационных центров окраски, так как при высокотемпературном отжиге центры

окраски должны были исчезнуть. Вероятно, этот эффект может быть обусловлен только отжигом самих образцов (без учёта отжига радиационных дефектов). Для выяснения этого было исследовано влияние температуры отжига на фазовый состав необлученной керамики. Эксперимент показал, что изменение при этих температурах связано с фазовыми переходами кристаллофазы метасиликата магния – MgSiO_3 при температуре 865°C и частичной кристаллизацией стекло фазы. Это подтверждается при изучении рентгенограмм и микротвердости отожженных и неотожженных образцов стеатитовой керамики СК-1.

Как отмечалось выше, в спектрах ГЛ стеатитовой керамики СК-1 было обнаружено свечение с максимумом при $\lambda=640$ нм, которое не связано с НАК. Анализ литературных данных по оксидам и силикатам показал, что в большинстве силикатных соединений обнаруживается красная люминесценция, обусловленная излучательными (d-d) переходами в Mn^{2+} . Для идентификации свечения была проведена высокотемпературная термообработка порошка керамики СК-1, пред варительно смоченного в растворе $\square \square$ марганцовокислого калия KMnO_4 . Спектры свечения термообработанного образца были идентичны спектру свечения исходного порошка керамики СК-1, но при этом интенсивность значительно увеличилась. Методом ЭПР также установлено зарядовое состояние иона Mn^{2+} . Спектры ГЛ показали, что при понижении температуры до 77 K (-196°C) интенсивность свечения уменьшается. С повышением температуры от 77 K до 150 K (-123°C) интенсивность полосы свечения не изменяется. При дальнейшем нагреве наблюдается увеличение интенсивности свечения, а при температурах $T > 200\text{ K}$ ($> -73^\circ\text{C}$) она выходит на насыщение.

После γ -облучения дозой $\sim 10^8\text{ Р}$ интенсивность данного свечения существенно не изменяется. Уменьшение интенсивности свечения при 77 K можно объяснить автолокализацией электронных возбуждений (ЭВ), которая наблюдается во многих оксидных соединениях. Предположим, что при низкотемпературном облучении создаются автолокализованные экситоны и дырки. С повышением температуры возрастает подвижность экситонов. При диффузионном перемещении они встречаются с активатором и путем обменного взаимодействия передают энергию возбуждения по схеме:



Автолокализованные дырки при высоких температурах также становятся подвижными и, встречаясь с ионами Mn^{2+} , рекомбинируют с испусканием свечения по схеме:



В случае диссоциации экситона, кроме указанных механизмов, возможен и другой рекомбинационный механизм свечения ионов Mn^{2+} :



Приведённые экспериментальные результаты показали, что в керамике СК-1 при высокодозовом γ -облучении образуются структурные дефекты. Для выяснения механизма дефектообразования нами были проведены расчеты по определению количества смещенных атомов комптоновскими электронами по ударному механизму при γ -облучении дозой 10^{10} Р, результаты которых при водятся в таблице 1.

Таблица 1

Число смещенных атомов в единице объема в зависимости от энергии смещения E_d

E_d , эВ	O, см ⁻³	Mg, см ⁻³	Si, 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	$4,61 \cdot 10^{13}$	$2,28 \cdot 10^{13}$	$1,38 \cdot 10^{13}$

Согласно этим данным, вероятность образования смещенных атомов в единице объема по ударному механизму, то есть при упругом смещении, мала. Из этого следует, что вклад комптоновских электронов в процесс дефекто образования не существен. Следовательно, в стеатитовой керамике СК-1 при γ -облучении структурные дефекты образуются по подпороговому механизму. Одним из возможных механизмов может быть распад электронных возбуждений около точечных дефектов на границе раздела между кристаллической и стеклофазой керамики.

В четвертой главе изучено влияние смешанного n- γ -реакторного облучения на люминесцентные (ТЛ, ГЛ, РЛ), абсорбционные (ДО) и ЭПР характеристики керамик. Известно, что в отличие от γ -излучения ^{60}Co нейтроны могут смещать атомы из узлов кристаллической решетки при упругих и неупругих взаимодействиях с ядрами вещества.

Исследования кривых ТЛ n- γ -облученных керамик показали, что при

флюенсе $\sim 10^{17}$ н/см² пики ТЛ образцов совпадают с пиками γ -облученных керамик. Это относится и к пикам с максимумами при 155 и 275 °С. При дальнейшем увеличении флюенса нейтронов до ($10^{18} \div 10^{20}$ н/см²), интенсивности отмеченных выше пиков ТЛ падают, и образуются пики в высокотемпературной области.

Изучение спектров ЭПР образцов, облученных n- γ -излучением реактора, показало, что в спектрах ЭПР наблюдаются сигналы с $g=2,0012$ и $g=4,3$, которые наблюдались в γ -облученных образцах. Интенсивность сигналов намного больше, чем у γ -облученных образцов. Других сигналов не обнаружено. Концентрация парамагнитных центров, дающих сигнал с $g=2,0012$, при сопоставимых дозах сопутствующего γ -излучения реактора выше, чем при γ -облучении ^{60}Co .

Изучение спектров ДО n- γ -облученных образцов керамик показало, что, кроме вышеуказанных, возникают и другие полосы поглощения (рис.4, кривая 1).

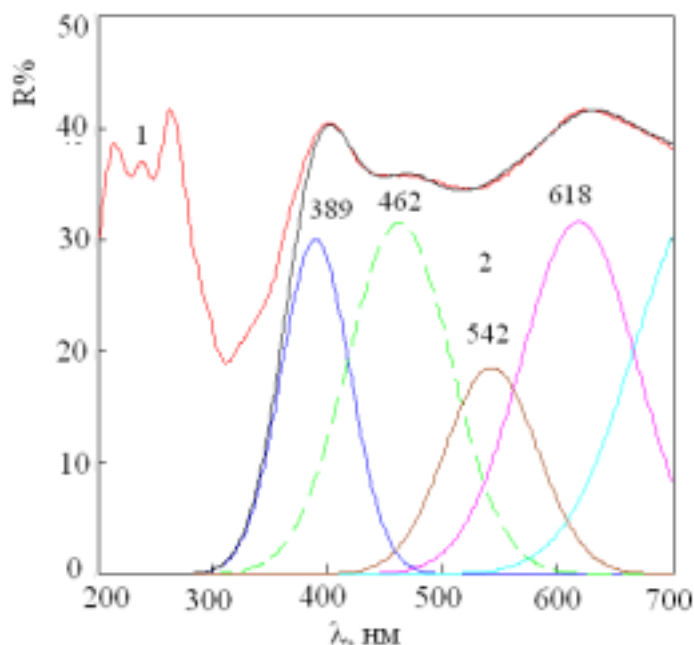


Рис. 4. Разностные спектры диффузного отражения γ -и n- γ -облученной керамики СК-1 (кривая 1 ($\Delta R = R_{\gamma} - R_{n-\gamma}$)) и их разложение на гауссианы в видимой области спектра (кривая 2)

В УФ области появляется новая ПП с максимумом при 248 нм. Анализ литературных данных показал, что ПП с максимумом 248 нм наблюдается во многих силикатных и кварцевых стеклах. Она обусловлена вакансией кислорода. Образование кислородной вакансии $\equiv\text{Si}-\text{Si}\equiv$ может быть обусловлено встречей двух E^1 -центров $\equiv\text{Si}^*$ (переключением связи двух $\equiv\text{Si}^{3+}$) или прямым выбиванием атомов кислорода при нейтронном облучении.

В видимой области и в области, находящейся вблизи ИК-границы спектра,

картина иная. Здесь не наблюдается явно выраженных ПП, кроме 400 нм. Однако, в этой области можно видеть наложение (суперпозицию) нескольких ПП. Для того, чтобы выделить каждую ПП из суперпозиции мы разложили спектр на гауссианы (рис.4, кривая 2).

Идентификация этих центров после разложения на гауссианы показала, что они состоят из четырех разновидностей V-центров с максимумами при 389, 462, 542 и 618 нм. Полоса поглощения с максимумом при 618 нм характерна для немостикового атома кислорода (НАК). Отличительной чертой НАК являются полосы поглощения при 260 и 620 нм и люминесценция при 660 нм. Эта полоса также появляется в γ -облученных образцах, но при высоких дозах ($\geq 10^9$ Р) ее интенсивность очень слабая. Образование НАК может быть обусловлено разрывом $\equiv\text{Si-O-Me}$ связи с удалением Me и образованием $\equiv\text{Si-O}\cdot$ связи. Эффективность создания V-центров в γ -облученных образцах, по сравнению с НАК, была очень высокой. Полоса поглощения с максимумом при 389 нм связана с $\cdot\text{O-Mg}$, (катионной вакансией в MgO). Ввиду наличия в составе стеатитовой керамики СК-1 кристаллической (MgSiO_3) и стекловидной фазы, а также сложного химического состава, прямая идентификация двух других центров ПП с максимумами 462 и 542 нм была затруднена. Но мы предполагаем, что эти полосы поглощения также обусловлены дырочными центрами V-типа, и они связаны с $\cdot\text{O-Me}$ состояниями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенное в настоящей работе комплексное изучение радиационного дефектообразования в стеатитовой керамике СК-1, подвергнутой воздействию высокодозного гамма-излучения от источника ^{60}Co и реакторного излучения, позволяет сделать следующие выводы:

1. На основе изучения оптических свойств (ТЛ, ДО) и ЭПР характеристик стеатитовой керамики СК-1 установлено, что при высокодозном γ -облучении от источника ^{60}Co образуются структурные дефекты, в основном, на границе раздела между кристаллической и стекловидной фазами керамики.

2. Расчеты по определению количества смещенных атомов при γ -облучении и сопоставление их с литературными данными показали, что дефектообразование при γ -облучении, в основном, идет по подпороговому механизму.

3. На основе исследования спектров диффузного отражения керамик сделано заключение о том, что наблюдаемые после γ -облучения полосы поглощения в УФ области с максимумами при 220, 248 и 260 нм обусловлены E^1 -центром, вакансией кислорода и Fe^{3+} , находящимся в тетраэдрической координации, соответственно. В видимой области ПП с максимумами 400÷550 нм обусловлены V-центрами

различного типа.

4. При отжиге облученных образцов в области температур $800 \div 900$ °С

16

температурная зависимость полос дополнительного поглощения с максимумами при 220 и 260 нм претерпевает излом, что обусловлено полиморфными превращениями в кристаллической фазе метасиликата магния, то есть увеличением количества протоэнстатита, а также образованием новой фазы (фаз). Последняя, вероятнее всего, связана с частичной кристаллизацией стеклофазы. Это приводит к изменению величины коэффициента диффузного отражения R в области УФ и ближе к видимой области спектра.

5. Результаты термообработок в различных средах при температурах $\sim 900 \div 1000$ °С (окислительной и восстановительной) показали, что пики ТЛ с максимумами при 155 и 275 °С обусловлены дырочными центрами.

6. Спектр люминесценции керамики СК-1 обусловлен двухвалентными ионами марганца Mn^{2+} . Уменьшение интенсивности свечения в низкотемпературной (< 200 К) области может быть обусловлено автолокализацией электронных возбуждений.

7. Сравнительное изучение результатов воздействия n - γ -реакторного и γ -облучений на стеатитовую керамику СК-1 позволяет констатировать, что реакторное облучение вызывает образование качественно новых точечных дефектов типа немостиковых атомов кислорода (НАК) и вакансий кислорода, по сравнению с действием γ -радиации. При реакторном n - γ -облучении наблюдается более интенсивный рост сигналов с $g=2,0012$ и $g=4,3$. Подобная закономерность наблюдается и в спектрах ДО с полосами поглощения в УФ области спектра с максимумами при 220 и 260 нм и видимой области спектра с максимумом при $400 \div 500$ нм.

Результаты диссертационной работы позволяют разработать практические рекомендации по применению изделий из магнезиальной керамики СК-1 в условиях повышенной радиации.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Гасанов
облучения на стеатитовую керамику // □□Атомная энергия. Э.М., Ким Ген Чан., Саидахмедов К.Х. Воздействие большой дозы γ - —Москва, 1996.— Т.80. Вып.2.—С.123-126.

2. Гасанов Э.М., Ким Ген Чан., Саидахмедов К.Х. Спектры оптического
—Москва,
1998.— Т.85. Вып3.— С.258-259.

3. Ашуров М.Х., Гасанов Э.М., Ким Ген Чан., Нуритдинов И., Саидахмедов К.Х. Люминесценция γ -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

17

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
го 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 γ -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 $MgSiO_3$ // 6th 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. -№ Р 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 Международная 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,

18

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 Хусановичнинг**
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, γ - ва $n\text{-}\gamma$ -нурланиш, E^1 -марказ, боғланмаган кислород атоми (БКА), V-туридаги ғовак бўйлиш марказлари: V^{2-} , V^- , V^0 .

Тадқиқот объекти: СК-1 стеатит керамикасида юқори дозали γ - ва $n\text{-}\gamma$ -реактор нурлантирилишида радиациявий нуқсонлар ҳосил бўлиши. **Ишнинг мақсади:** ^{60}Co гамма манбаси ва $n\text{-}\gamma$ -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 Mn^{2+} ионининг рекомбинациявий люминесценциясининг уйғотилиш, нур чиқариш ва сўниш механизмлари ўрганилди. Юқори ҳароратларда ($T_{\text{отж}} \geq 850^\circ\text{C}$) СК-1 стеатит керамикасининг оптикавий хусусиятларининг кескин ўзгариши бевосита кристалл фазадаги фаза ўтишлари ва қисман шишасимон фазанинг кристалл фазага ўтишлари билан боғлиқлиги кўрсатилди. Реакторда нурлан тирилган керамик намуналарда γ -нурлари билан нурлатилган намуналарга қара ганда 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.

Ключевые слова: Стеатитовая керамика, радиация, структурный дефект, кристаллическая фаза, стекловидная фаза, термо-, фото-, рентгено- и гаммалюминесценция, электронный парамагнитный резонанс-ЭПР, спектры диффузного отражения-ДО, γ -, $n\text{-}\gamma$ -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 γ - и $n\text{-}\gamma$ -реакторном облучении.

Цель работы: установление закономерностей процессов радиационного дефектообразования в стеатитовой керамике СК-1 при воздействии γ -излучения ^{60}Co и реакторного $n\text{-}\gamma$ 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 Mn^{2+} . Установлено, что деградация оптических свойств керамики СК-1 при высокотемпературном отжиге ($T_{\text{отж}} \geq 850^\circ\text{C}$) 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 γ -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 эффект: 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.

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, γ -, n- γ -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 γ - and n- γ -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 γ - radiation with the ^{60}Co source and the reactor n- γ 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 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 ($T_{\text{ann}} \geq 850^\circ\text{C}$) 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 γ -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.