

АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

На правах рукописи

УДК 539.104:535.34:535.37

БОБОЯРОВА ШАРОФАТ ГАНИЕВНА

**ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ НА ПРОЦЕССЫ
УДАРНОГО И НЕУДАРНОГО СОЗДАНИЯ ДЕФЕКТОВ В КРИСТАЛЛАХ
КВАРЦА**

01.04.07 –Физика конденсированного состояния

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук

Ташкент – 2011

Работа выполнена в Институте ядерной физики Академии наук
Республики Узбекистан

Научный руководитель: доктор физико - математических
наук, профессор Ибрагимов Жалил
Дусмуратович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических
наук, профессор Гасанов Эльдар
Мамедович

доктор физико - математических
наук, профессор Власов Сергей
Игоревич

Ведущая организация: Физика - технический институт АН РУз

Защита состоится «_____» _____ 2011 г. в _____ часов на заседании
Объединенного специализированного Совета Д015.23.01 по защите диссертаций
на соискание ученой степени доктора наук при Институте электроники АН РУз и
Институте ядерной физики АН РУз по адресу: 100214, г. Ташкент, Мирзо-
Улугбекский район, п. Улугбек, ИЯФ АН РУз; тел.:(998-71) 289-36-09; факс: (998-
71) 150-30-26.

С диссертацией можно ознакомиться в 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.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время установление зависимости механизмов создания дополнительных дефектов неударным и ударным путями от изменения типа и концентрации, первоначально существующих и возникающих в процессе облучения, точечных нарушений и зародышей других фаз облучаемых материалов, является одной из не решенных окончательно актуальных проблем радиационной физики твердого тела. В связи с этим тема данной работы, посвященной исследованию влияния структурных превращений, происходящих в кристаллах кварца по мере роста флюенса протонов (p), дейтонов (d) и α - частиц на процессы ударного и неударного создания дефектов структуры, является актуальной.

Степень изученности проблемы. К началу настоящего исследования с использованием комплекса экспериментальных и теоретических методов показано, что в кристаллах кварца, имеющих совершенную структуру, под действием γ - квантов источника ^{60}Co собственные нарушения не создаются. В поврежденных неударным и ударным путями частях кристалла за счет неупругих и упругих потерь энергии (НПЭ, УПЭ) p, d, α - частиц, имеющих надпороговые энергии, создаются вакансии кислорода, захватившие один электрон (E_1' - центры). Создание E_1' - центров наблюдается и при облучении кристаллов электронами с подпороговой энергией. В кристаллах, облученных одинаковым флюенсом p, d, α - частиц и электронов, набранным при различных плотностях тока пучка (ПТП), эффективность создания E_1' - центров увеличивается с ростом ПТП падающих частиц. Повышение их флюенса приводит к уменьшению значения ПТП, при котором начинается создание точечных нарушений структуры кварца.

В предварительно облученных разными флюенсами нейтронов, p, d и α - частиц кристаллах кварца под действием γ - квантов и электронов с подпороговой энергией наблюдается создание дополнительных точечных дефектов. Значение дозы γ - квантов D_γ и ПТП электронов, при которых начинается создание дополнительных дефектов, уменьшается с ростом флюенса предварительного облучения, т.е. с увеличением концентрации всех типов нарушений структуры, наводимых предварительным облучением. Увеличение концентрации предварительно существующих и радиационно - наведенных нарушений структуры кристаллов кварца повышает вероятность создания дополнительных - центров неударным путем.

Теоретически и экспериментально показано, что под действием нейтронов в SiO_2 происходит α - β - переход через образование зародышей β - фазы. При выращивании кристаллов на затравках, облученных разными значениями флюенса нейтронов, зародыши β - фазы наследуются выросшим слоем. Предполагается, что стабильность зародышей β - фазы обеспечивается образованием вокруг них аморфной фазы (АФ). Концентрация зародышей увеличивается с ростом флюенса нейтронов. Это приводит к изменению типа и соотношения концентраций дефектов, значений объемов, занимаемых α -, β - и аморфной фазами, а также к изменению структурного состояния границ раздела между α - и β -, β - и аморфной фазами. Между отдельными частями кристаллов, содержащих разные типы

нарушений структуры, возникают напряжения. Значение напряжения зависит от типа дефектов структуры. По мере роста флюенса нейтронов, p , d и α - частиц происходит аморфизация структуры SiO_2 . Существует предположение о том, что увеличение степени дефектности структуры кристалла облегчает структурные превращения.

Вышеприведенные данные дают основание полагать, что природа физических процессов, приводящих к созданию дополнительных точечных нарушений структуры и структурным превращениям, зависит от типа и концентрации предварительно существующих и радиационно - наведенных нарушений структуры. К началу настоящих исследований такие исследования не были проведены.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР. Диссертационная работа связана с тематическими планами научно-исследовательских работ, выполненных в лаборатории радиационных процессов в диэлектрических материалах Института ядерной физики АН РУз в соответствии с контрактами ФПФИ АН РУз № 14-00: «Исследование особенностей радиационно-стимулированных процессов в оксидных материалах при высоких плотностях электронных возбуждений» (2000-2001 гг.), «Исследование электронных и ионных процессов в оксидных и фторидных твердотельных материалах в зависимости от структуры и состава» (2000-2002 гг.) (№ гос. регистрации: 01.200009676), «Радиационно-оптические и люминесцентно - временные процессы в многокомпонентных оксидных и халькогенидных люминофорах» (2003-2007 гг.) (№ проекта Ф-2.1.17), по первой части проекта «Термо - и радиационно-стимулированные явления в твердых растворах замещения и внедрения» (2008-2010 гг.) (№ проекта Ф2-Ф065+Ф071) на тему «Электронные возбуждения, центры окраски и люминесценции перспективных оксидных твердотельных материалов»

Цель и задачи исследований. Целью диссертационной работы является исследование влияния радиационно-стимулированных структурных превращений в кристаллах кварца на процессы создания дополнительных точечных нарушений структуры неударными и ударными путями.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

– исследование изменения концентрации E_1' - и E_1' - подобных центров по толщине поврежденного слоя за счет НПЭ и УПЭ частях номинально чистых и примесных кристаллов кварца при облучение различными флюенсами p , d и α – частиц;

– определение типа нарушений структуры, возникающих в поврежденных за счет НПЭ и УПЭ протонов частях кристаллов кварца и изучение их влияния на процессы создания в этих частях дополнительных E_1' - и E_1' - подобных центров неударным и ударным путями;

– изучение процессов создания точечных дефектов в кристаллах, содержащих разные концентрации зародышей β - и аморфной фаз, под действием нейтронов и γ - квантов.

Объект и предмет исследований. Объектом исследования является дефектообразование в кристаллах кварца, содержащих разные виды точечных нарушений, отдельных зародышей других фаз и квазиаморфный слой, под действием излучений, создающих дефекты структуры неударным и ударным

путями. Предметом исследований является установление зависимости механизмов неударного и ударного создания дополнительных дефектов от типа и концентрации предварительно существующих и возникающих в процессе облучения нарушений структуры.

Методы исследований. Для определения типа и природы дефектов, образующихся в исследуемых кристаллах, использованы различные стандартные оптические методы, такие как изучение спектров поглощения (СП), фото-, гаммалюминесценции (ФЛ, ГЛ) и метод электронного-парамагнитного резонанса (ЭПР). Для отдельного исследования роли неупругих и упругих потерь энергии падающих частиц, влияния изменения типа и концентрации дефектов на фиксированных глубинах поврежденного слоя кристалла на процессы создания дополнительных нарушений структуры использован разработанный в [1] метод изучения распределения центров окраски по толщине кристаллов, облученных разными флюенсами p ($E=18$ МэВ), d ($E=16$ МэВ) и α - частиц ($E=18$ МэВ), до и после воздействия разных доз γ - квантов.

СП образцов измерялись на спектрофотометрах «Specord UV-Vis» фирмы «Карл-Цейс» (Германия) в диапазоне 200÷900 нм и LAMBDA-35 фирмы «Perkin Elmer» (США) в диапазоне 200÷1100 нм. Исследование ГЛ проводилось на γ -установке ИЯФ АН РУз. Источником γ - квантов является изотоп ^{60}Co . Спектры ФЛ и их оптического возбуждения в области от 200 до 800 нм измерялись на установке, собранной на базе мощной ксеноновой лампы, монохроматоров МДР-12 (ЛОМО), SPM-2 (CARL ZEISS). Регистрация спектров ЭПР производилась на стандартных радиоспектрометрах РЭ - 1301, РЭ – 1306 и «Brucker».

Гипотеза исследований. Механизм создания дополнительных нарушений структуры неударным и ударным путями в кристаллах кварца зависит от изменения типа и увеличения концентрации как предварительно существующих, так и возникающих в процессе облучения дефектов структуры. Результаты этих исследований могут быть использованы при уточнении теории радиационного повреждения структуры твердых тел и расчете радиационной стойкости разных структурных модификаций SiO_2 , прогнозировании поведения их параметров в условиях автономного и комбинированного воздействия на них излучений, имеющих под- и надпороговые энергии.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Положение о том, что зародыши АФ, содержащие E_1' - центры и НАК, образуются в поврежденных за счет упругих потерь энергии p , d и α - частиц слоях кристалла. Увеличение концентрации зародышей АФ на фиксированных глубинах поврежденного слоя повышает вероятность создания дополнительных точечных дефектов ударным путем.

2. Экспериментальное доказательство того, что эффективность ударного создания дополнительных точечных дефектов в поврежденных p , d и α - частицами слоях кристаллов кварца, содержащих точечные дефекты и отдельные зародыши АФ, больше чем в сплошном квазиаморфном слое.

3. Вывод о том, что изменение типа и концентрации предварительных нарушений структуры на фиксированных глубинах поврежденных p , d и α - частицами слоях кристаллов кварца с ростом дозы γ - квантов изотопа ^{60}Co

повышает вероятность неударного создания дополнительных E_1' - и E_1' - подобных центров.

4. Вывод о том, что в кристаллах кварца, состоящих из смеси α - , β - и аморфной фаз, с ростом концентрации β - фазы эффективность неударного создания дополнительных E_1' - центров в аморфной фазе кварца увеличивается.

Научная новизна.

1. Установлено, что при флюенсе p , d и α - частиц, равном $4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ в поврежденном за счет упругих потерь энергии слое кристаллов кварца концентрация E_1' - и E_1' - подобных центров имеет максимальное значение на некоторой глубине R_m . При больших значениях флюенса падающих частиц наблюдается постепенный сдвиг R_m в область меньших глубин. Это обусловлено увеличением концентрации дефектов и изменением структурного состояния кристалла на фиксированных глубинах поврежденного слоя по мере роста флюенса падающих частиц в интервале $4 \cdot 10^{14} \div 10^{17} \text{ см}^{-2}$.

2. На основе результатов исследования спектров ЭПР кристаллов, облученных флюенсами протонов $4 \cdot 10^{14} \div 10^{17} \text{ см}^{-2}$, отдельного изучения спектров поглощения и люминесценции поврежденных за счет неупругих и упругих потерь энергии протонов частей кристалла, установлено, что зародыши АФ, содержащие E_1' - центры и НАК, образуются в слое кристалла поврежденном за счет упругих потерь энергии протонов.

3. Установлено, что вероятность образования дополнительных E_1' - и E_1' - подобных центров на глубинах 1, 1.1 и 1.2 мм поврежденного протонами слоя кристаллов, увеличивается при возрастании флюенса вплоть до 10^{16} см^{-2} , а при $\Phi \geq 10^{17} \text{ см}^{-2}$ – уменьшается. Это обусловлено увеличением концентрации зародышей АФ при флюенсах до 10^{16} см^{-2} , а при $\Phi \geq 10^{17} \text{ см}^{-2}$ образованием на этих глубинах квазиаморфного слоя, так как число дефектов, приходящихся на 1 кэВ величины G_n , в поврежденных слоях, состоящих из отдельных зародышей АФ, больше, чем в квазиаморфном слое. Дополнительные E_1' - центры создаются преимущественно за счет разрыва напряженных $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$ связей.

4. Показано, что на глубинах 0.8 и 0.9 мм, содержащих меньшую концентрацию E_1' - центров, чем на глубинах 1, 1.1 и 1.2 мм, вероятность образования дополнительных E_1' - и E_1' - подобных центров увеличивается вплоть до флюенса 10^{17} см^{-2} . Это, по-видимому, обусловлено тем, что на этих глубинах вероятность образования зародышей АФ меньше, чем на глубинах 1, 1.1 и 1.2 мм и вплоть до $\Phi=10^{17} \text{ см}^{-2}$ концентрация зародышей АФ не достигает критической величины, необходимой для образования квазиаморфного слоя.

5. Исследованы спектры поглощения, ФЛ и ЭПР номинально чистых и кристаллов кварца с примесью Fe, предварительно содержащих разную концентрацию вакансий кислорода и зародышей АФ, до и после дополнительного облучения γ – квантами и нейтронами. Показано, что с ростом концентрации вакансий кислорода и зародышей АФ эффективность создания под действием γ – квантов дополнительных вакансий кислорода и НАК в объеме зародышей АФ кварца увеличивается. Повышение концентрации предварительных нарушений структуры приводит к росту вероятности образования зародышей АФ под

действием нейтронов. Образование зародышей АФ происходит за счет термических пиков.

6. Установлено, что в поврежденном р, d и α - частицами слое кристаллов под действием γ - квантов источника ^{60}Co создаются дополнительные E_1' - и E_1' -подобные центры. По мере роста дозы γ - квантов эффективность создания дополнительных дефектов по всей толщине поврежденного слоя увеличивается с ростом концентрации E_1' - и E_1' - подобных центров, наведенных предварительным облучением. Это обусловлено изменением типа и увеличением концентрации предварительно существующих нарушений структуры с ростом дозы облучения. Создание стабильных E_1' - центров происходит за счет разрыва напряженных $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$ связей.

7. Исследованы процессы, протекающие под действием γ - лучей в кристаллах кварца, предварительно содержащих разные концентрации зародышей β - и аморфной фаз. Показано, что увеличение концентрации зародышей β - и аморфной фаз приводит к росту вероятности образования дополнительных E_1' -центров в аморфной фазе кварца.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Полученные результаты имеют важное значение при установлении зависимости природы процессов, приводящих к созданию дополнительных точечных дефектов структуры неударным и ударным путями, от типа и концентрации предварительно существующих нарушений структуры кристаллов кварца. Метод и результаты изучения распределения дефектов структуры по толщине поврежденного слоя могут быть использованы при изучении механизма неударного и ударного создания дефектов в других типах твердых тел. Обнаруженную зависимость эффективности создания дополнительных центров окраски на фиксированных глубинах от типа и концентрации предварительных нарушений структуры можно использовать при установлении природы процессов, протекающих под действием излучений с над- и подпороговой энергиями и приводящих к созданию дополнительных точечных дефектов, структурным превращениям, в других оксидных материалах с несовершенной структурой.

Реализация результатов. Полученные данные могут быть применены при разработке способов повышения радиационной стойкости или чувствительности разных структурных модификаций SiO_2 , прогнозировании поведения их параметров в условиях автономного и комбинированного воздействия на них излучений, имеющих под- и надпороговые энергии.

Результаты могут быть использованы при усовершенствовании теории повреждения структуры твердых тел излучениями, имеющими над- и подпороговой энергии, и интерпретации полученных результатов в разных структурных модификациях SiO_2 , а также в других типах твердых тел с дефектной структурой.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на: Международной Конференции «Актуальные проблемы физики полупроводниковых приборов» (г. Ташкент, 1997), Международной Конференции «Проблемы теоретической физики и физики твердого тела» (г. Бухара, 1997), II и III Международных Конференциях «Современные проблемы ядерной физики» (г. Самарканд, 1997; г. Бухара, 1999), The 3rd School and Workshop on Cyclotrons and

Applications (Cairo, Egypt, 1999), Научно-практической Конференции «Космические исследования, технологии и конверсия - IV» (г. Ташкент, 1999), Международной Конференции «Проблемы производства поли- и монокристаллического кремния для микроэлектроники и солнечной энергетики» (г. Андижан, 2000), III и VI Международных Конференциях «Ядерная и радиационная физика» (г. Алматы, 2001 и 2007 гг.), IX Межнациональном Собрании «Радиационная физика твердого тела» (г. Севастополь, 1999), XIII и XIX Международных Собраниях «Радиационная физика твердого тела» (г. Севастополь, 2003 и 2009 гг.), I II, V Eurasian Conferences of Nuclear science and its application. (Turkey, Izmir 2000; Kazakhstan, Almaty, 2002; Turkey, Ankara, 2008), Республиканской Конференции «Ҳозирги замон физикасининг долзарб муаммолари» (г. Термез, 2002; г. Ташкент, 2007), Республиканской конференции, посвященной современным проблемам физики конденсированных сред и физического образования (г. Самарканд, 2009).

Опубликованность результатов. Материалы диссертационной работы опубликованы в 6 научных статьях и 16 тезисах докладов Республиканских и Международных конференций.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов и списка цитированной литературы. Она изложена на 104 страницах, включая 26 рисунков, библиографию из 107 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе диссертации приводится обзор литературных данных, посвященных изучению влияния точечных дефектов структуры и фазовых превращений на оптические свойства кристаллов кварца, а также влияние изменения степени дефектности структуры кварца на создание дополнительных нарушений неударным и ударным путями. На основе анализа и обсуждения результатов существующих литературных данных показано, что пока не исследована зависимость эффективности создания дополнительных точечных дефектов неударными и ударными путями от изменения типа и концентрации предварительно существующих и возникающих в процессе облучения нарушений структуры. В конце главы сформулирована цель работы, определены задачи исследований.

Вторая глава начинается с описания основных предпосылок, используемых для подбора объектов исследования, предназначенных для изучения влияния структурных превращений на процессы создания дополнительных дефектов неударным и ударным путями. Для этого использованы данные [2], показывающие, что в кристаллах кварца, облученных p , d и α - частицами, существуют поврежденные за счет НПЭ и УПЭ слои, имеющие толщины $L_1 \leq R_0$ и $R_0 \leq L_2 \leq R$ (R – глубина проникновения p , d и α - частиц). Поврежденный слой кристалла толщиной $L_1 \leq R_0$ содержит только точечные нарушения структуры. Предполагается, что поврежденный слой толщиной $R_0 \leq L_2 \leq R$, наряду с точечными

дефектами, содержит и зародыши АФ. Для проверки этого предположения нами в качестве объекта использованы номинально чистые и с примесью Fe кристаллы кварца, облученные флюенсами протонов $4 \cdot 10^{14} \div 10^{17} \text{ см}^{-2}$, а также поврежденные слои с толщинами $L_1 \leq R_0$ (образец I-типа) и $R_0 \leq L_2 \leq R$ (образец II-типа), выделенные из облученного флюенсом протонов 10^{15} см^{-2} кристалла $\text{SiO}_2:\text{Fe}$. При этом мы исходили из того, что если в объектах исследования существуют зародыши АФ, то в спектрах ЭПР появляется сигнал, а в спектрах поглощения и люминесценции полосы, принадлежащие аморфной фазе SiO_2 . Увеличение интенсивности сигнала и полос, связанных с аморфной фазой, с ростом флюенса падающих частиц свидетельствует о повышении концентрации аморфной фазы.

Номинально чистые и кристаллы с примесями Al, Ge и Fe, облученные флюенсами $4 \cdot 10^{14} \div 10^{17} \text{ см}^{-2}$ p, d и α - частиц, использованы и при изучении влияния увеличения концентрации дефектов и изменения структурного состояния кристалла на фиксированных глубинах поврежденного слоя по мере роста флюенса p, d и α - частиц на процессы создания дополнительных дефектов ударным путем, исходя из следующих соображений. Существуют литературные данные о том, что аморфизация структуры кристаллов кварца происходит через образование зародышей АФ. Тип и концентрация дефектов структуры, возникающих на фиксированных глубинах поврежденного слоя толщиной $R_0 \leq L_2 \leq R$, зависит от величины плотности упругих потерь энергии G_n . Это дает основание полагать, что первоначально зародыши АФ образуются на фиксированной глубине поврежденного слоя R_m , где значение G_n имеет максимальное значение. По мере роста флюенса падающих частиц концентрация зародышей АФ на глубине R_m увеличивается, и становится возможным образование зародышей АФ и на глубинах больше или меньше, чем R_m . При некотором значении флюенса на этих глубинах поврежденного слоя образуется квазиаморфный слой за счет взаимодействия зародышей АФ между собой. Поскольку по мере роста флюенса каждая вновь падающая частица взаимодействует с дефектным состоянием кристалла, вызванным предыдущей частицей, то можно считать, что исследование распределения точечных нарушений по толщине поврежденного слоя кристалла позволяет изучить влияние изменения типа и увеличения концентрации нарушений на фиксированных глубинах на процессы создания дополнительных дефектов структуры.

Для изучения влияния предварительно существующих зародышей АФ кварца на процессы неударного создания дополнительных точечных нарушений структуры, предварительно облученные флюенсами $4 \cdot 10^{14} \div 10^{17} \text{ см}^{-2}$ кристаллы $\text{SiO}_2:\text{Fe}$, образцы I и II-типов и кристаллы, выращенные на затравках, облученных разными флюенсами нейтронов, а также предварительно облученные флюенсом протонов 10^{16} см^{-2} кристаллы $\text{SiO}_2:\text{Al}$ дополнительно облучены разными дозами γ - квантов источника ^{60}Co . При этом мы считали, что в объеме и на фиксированных глубинах исследуемых кристаллов существуют разные концентрации зародышей АФ. Под действием γ - квантов наблюдается только создание дополнительных точечных дефектов неударным путем.

В третьей главе для исследования влияния изменения типа и концентрации дефектов структуры кристалла на процессы ударного и неударного создания дефектов изучено изменение оптической плотности на максимумах полос

поглощения 215 нм (E'_1 - центр), 350 и 540 нм (E'_1 - подобные центры), по толщине номинально чистых и с примесями Al, Fe кристаллов кварца, облученных флюенсами p , d и α - частиц, равными $4 \cdot 10^{14} \div 10^{17} \text{ см}^{-2}$.

Показано, что при $\Phi = 4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$ в поврежденном слое кристалла $L_1 \leq R_0$ число E'_1 - и E'_1 - подобных центров не изменяется. В поврежденном слое с толщиной $R_0 \leq L_2 \leq R$ их число увеличивается и при некоторой глубине R_m достигает максимума, а затем уменьшается. Повышение флюенса приводит к увеличению числа E'_1 - и E'_1 - подобных центров как в поврежденном слое толщиной $L_1 \leq R_0$, так и при $R_0 < L_2 \leq R$. Сопоставление показывает, что в случае облучения кристаллов α - частицами число дефектов в поврежденном слое толщиной $L_1 \leq R_0$ больше, чем в кристаллах, облученных протонами. Начиная с флюенса 10^{15} см^{-2} , наблюдается увеличение числа E'_1 - и E'_1 - подобных центров как в слое толщиной $L_1 \leq R_0$, так и при $R_0 < L_2 \leq R$, и сдвиг R_m в область меньших глубин. Это хорошо видно на рисунке 1, где для наглядности приведены значения ΔD , представляющие прирост концентрации E'_1 - центров по всей толщине поврежденного слоя. Значения ΔD определены как $\Delta D_1 = D_1 - D_0$, $\Delta D_2 = D_2 - D_1$ и $\Delta D_3 = D_3 - D_2$, где D_0, D_1, D_2, D_3 - значения оптической плотности на фиксированных глубинах поврежденных слоев кристалла, облученных флюенсами протонов $4 \cdot 10^{14}, 10^{15}, 10^{16}$ и 10^{17} см^{-2} .

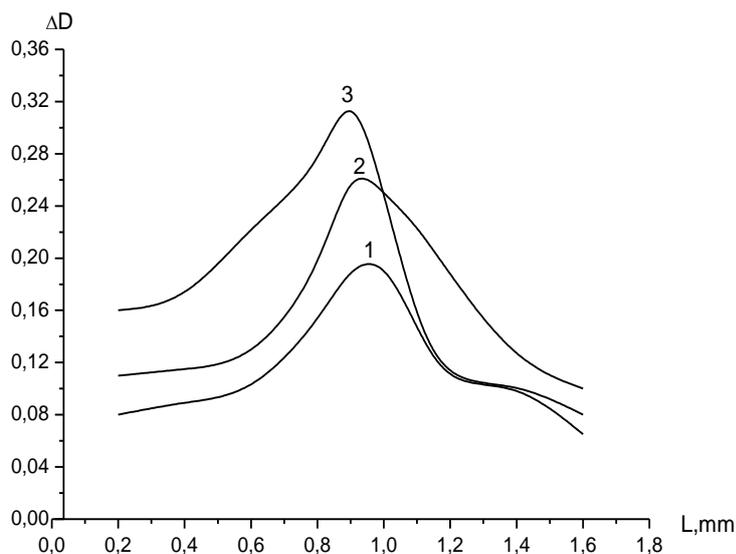


Рис.1. Изменение значений $\Delta D_1(1)$, $\Delta D_2(2)$ и $\Delta D_3(3)$ на максимуме полосы поглощения 215 нм, по толщине поврежденного слоя кристалла

Согласно данным [2, 3], полагаем, что в поврежденном флюенсами $4 \cdot 10^{14} \div 10^{17} \text{ см}^{-2}$ падающих частиц слое кристалла толщиной $R_0 < L_2 \leq R$ за счет упругих потерь энергии падающих частиц, наряду с E'_1 - и E'_1 - подобными центрами, возникает и аморфная фаза SiO_2 .

Для проверки этого предположения сначала исследованы спектры люминесценции номинально чистых и с примесью Fe кристаллов кварца, облученных флюенсами протонов $4 \cdot 10^{14} \div 10^{17} \text{ см}^{-2}$, а также спектры поглощения и

люминесценции образцов I и II типа. Установлено, что в спектре люминесценции номинально чистых и с примесью Fe кристаллов, облученных флюенсом протонов $4.10^{14} \text{ см}^{-2}$, существует полоса с максимумом при 660 нм, обусловленная немостиковыми атомами кислорода (НАК), стабильно существующими только в аморфной фазе. В спектре поглощения образцов I и II типов существуют полосы с максимумами при 220 и 260 нм. В литературе полоса 220 нм приписывается вакансии кислорода, стабильно существующей в разупорядоченных местах кристаллической структуры кварца, а полоса 260 нм - НАК, стабильно существующим только в аморфной фазе. Интенсивность полосы 260 нм больше в образцах II типа. В спектре люминесценции обоих типов образцов появляется полоса с максимумом при 470 нм, возникающая при рекомбинации электронов с E_1' - центром, находящимся в аморфной фазе. Ее интенсивность больше в образцах II типа.

Вышеприведенные данные подтверждают предположение о том, что в поврежденном слое кристалла толщиной $R_0 < L_2 < R$, начиная с флюенса $4.10^{14} \text{ см}^{-2}$ р, d и α - частиц, наряду с точечными нарушениями структуры, образуются и зародыши АФ SiO_2 . При флюенсе падающих частиц $4.10^{14} \text{ см}^{-2}$, в первую очередь, зародыши АФ образуются на глубине поврежденного слоя R_m , так как на этой глубине значение G_n достигает величины $2.10^{20} \text{ кэВ.см}^{-3}$, необходимой для образования зародышей АФ. При флюенсах $\Phi > 4.10^{14} \text{ см}^{-2}$ возможно образование зародышей АФ и на глубинах меньше и больше, чем R_m . С ростом флюенса падающих частиц наблюдается увеличение концентрации зародышей АФ и при некотором значении флюенса сначала на глубине R_m , а затем на глубинах меньше и больше, чем R_m , возникает квазиаморфный слой, что, по [2,3], связано с взаимодействием зародышей АФ между собой.

Отметим, что результаты исследования зависимости интенсивности полосы 660 нм от флюенса падающих частиц, не позволяют определить при каких флюенсах в поврежденном слое образуется квазиаморфный слой, так как в спектре люминесценции кристаллов кварца, содержащих отдельные зародыши АФ и квазиаморфный слой, наблюдается одна полоса люминесценции 660 нм [2]. Поэтому нами в качестве зонда, свидетельствующего о наличии квазиаморфного слоя в поврежденном слое, использовали зависимость термической стабильности дефектных центров, ответственных за полосу 660 нм, исходя из следующих соображений.

В [2] показано, что при облучении кварца нейтронами возникают зародыши β - и аморфной фазы. Предполагается, что зародыши имеют различные размеры. Повышение флюенса нейтронов приводит к увеличению концентрации и размеров зародышей. Стабильность зародышей обеспечивается образованием вокруг них напряжения. Снятие напряжения за счет взаимодействия зародышей между собой или термическим путем приводит к их распаду. Термический распад зародышей, имеющих разные размеры, происходит при разных температурах. Для проверки этого предположения исследованы спектры ИК - поглощения и люминесценции нейтронно-облученных кристаллов кварца, содержащих разные концентрации зародышей β - и аморфной фаз, после нагрева в интервале $200 \div 900^\circ\text{C}$. Результаты исследований показали, что каждому значению флюенса нейтронов соответствует интервал температуры $T_0 - T_1$, в пределах которого наблюдается рост

интенсивности полосы 3640 см^{-1} , приписываемой β - фазе SiO_2 , а при $T > T_1$ ее интенсивность уменьшается. Значение T_1 увеличивается с ростом флюенса нейтронов. После термообработки при 200 и 300°C интенсивность полос 550 , 660 нм увеличивается, а затем уменьшается. Полученные данные объясняются следующим образом: при воздействии одного значения флюенса нейтронов возникают зародыши, имеющие размеры $R_{\min} - R_{\max}$, после нагрева в интервале температур $T_0 \div T_1$ их размеры увеличиваются, что приводит к росту концентрации дефектных центров, ответственных за появление полосы поглощения 3640 см^{-1} и полос люминесценции при 550 и 660 нм. При температурах $> T_1$ начинается распад зародышей, что приводит к уменьшению интенсивностей полос 3640 см^{-1} , 550 и 660 нм. Увеличение численного значения T_1 связано с увеличением значений R_{\min} и R_{\max} с ростом флюенса нейтронов.

Данные [4] также показывают, что точечные дефекты структуры, возникающие в поврежденном слое кристалла за счет упругих потерь энергии ионов, полностью отжигаются при 770K , а микрообласти, имеющие аморфную структуру, стабильны вплоть до 770K и исчезают в интервале температур 800 - 1270K .

На основе вышеприведенных данных нами сделано предположение о том, что термическая стабильность зародышей АФ, следовательно, и термическая стабильность НАК, находящихся в объеме отдельных зародышей АФ и в квазиаморфном слое, является различной. Для проверки этого предположения нами сначала исследованы спектры ФЛ номинально чистых кристаллов, подвергнутых последовательному воздействию флюенсов протонов $4 \cdot 10^{14}$, 10^{15} см^{-2} и дозы 10^{10} Р γ - квантов. Кристаллы до воздействия γ - квантов содержат точечные дефекты и отдельные зародыши АФ. Облученные кристаллы были подвергнуты отжигу в интервале $200 \div 600^\circ\text{C}$. Исследование ФЛ ($\lambda_{\text{в}}=337$ нм) показало, что до воздействия γ - квантов в спектре существуют полосы с максимумами при 550 и 660 нм. С ростом дозы γ - квантов их интенсивность увеличивается. После отжига в интервале $200 \div 600^\circ\text{C}$ интенсивности полос 550 и 660 нм уменьшаются с ростом температуры отжига, и при 500°C полосы исчезают. Затем кристаллы, подвергнутые последовательному воздействию флюенса протонов 10^{15} см^{-2} и дозы 10^{10} Р γ - квантов, дополнительно облучили флюенсом нейтронов 10^{16} см^{-2} , учитывая, что под действием нейтронов, наряду с точечными дефектами, создаются дополнительные зародыши АФ. Это должно приводить к увеличению размеров микрообластей, имеющих аморфную структуру. Исследования ФЛ показали, что, как и в нейтронно-облученных образцах, в этих образцах после отжига при 200 и 300°C интенсивности полос 550 и 660 нм увеличиваются, а затем уменьшаются, и при 500°C также исчезают.

Полученные результаты свидетельствуют в пользу предположения о том, что с ростом флюенса p , d и α - частиц концентрация зародышей АФ увеличивается, и при определенных значениях флюенса на фиксированных глубинах поврежденного слоя возникает квазиаморфный слой за счет взаимодействия зародышей АФ между собой.

Существуют литературные данные о том, что число дефектов, приходящихся на один кэВ величины $G_{\text{н}}$, имеет максимальное значение в области поврежденного слоя, содержащего отдельные зародыши АФ. В квазиаморфном

слое число дефектов, приходящихся на один кэВ величины G_n , меньше, чем в слое, содержащем отдельные зародыши АФ. Поэтому можно полагать, что изменение концентрации зародышей АФ и образование квазиаморфного слоя с ростом флюенса падающих частиц должно привести и к изменению значения эффективности создания дополнительных E_1' - и E_1' - подобных центров на фиксированных глубинах поврежденного слоя с толщиной $R_0 < L_2 < R$.

Для проверки этого предположения найдены численные значения ΔD , определяющие приращения количества E_1' - и E_1' - подобных центров на фиксированных глубинах поврежденного слоя, в интервалах флюенсов $\Delta\Phi_1 = (10^{15} - 4 \cdot 10^{14}) \text{ см}^{-2}$; $\Delta\Phi_2 = (10^{16} - 10^{15}) \text{ см}^{-2}$; $\Delta\Phi_3 = (10^{17} - 10^{16}) \text{ см}^{-2}$. Результаты приведены на рисунках 2 и 3. Из рисунков видно, что для всех интервалов флюенсов значение ΔD на фиксированных глубинах поврежденного слоя толщиной $L_1 \leq R_0$ увеличивается. Из рисунка 2 видно, что концентрация E_1' - центров на глубинах 0.8 и 0.9 мм вплоть до флюенса протонов 10^{17} см^{-2} постепенно увеличивается. На глубинах поврежденного слоя 1, 1.1 и 1.2 мм, концентрация E_1' - центров сначала увеличивается вплоть до флюенса 10^{16} см^{-2} , а затем падает.

Полученные данные объясняются следующим образом. В [5] отмечается, что по достижению определенной концентрации вакансий кислорода в облучаемом объеме кристалла возникают зародыши АФ. Это также свидетельствует в пользу предположения о том, что в интервале флюенсов $4 \cdot 10^{14} - 10^{16} \text{ см}^{-2}$ на глубинах поврежденного слоя 1, 1.1 и 1.2 мм, в первую очередь, наблюдается образование отдельных зародышей АФ и увеличение их концентрации. На этих глубинах число E_1' - центров, приходящихся на один кэВ величины G_n , максимально. Этим обусловлен наблюдаемый сдвиг R_m в область меньших глубин и увеличение значения ΔD вплоть до флюенса падающих частиц 10^{16} см^{-2} . При флюенсе 10^{17} см^{-2} на этих глубинах возникает квазиаморфный слой, что приводит к уменьшению величины ΔD .

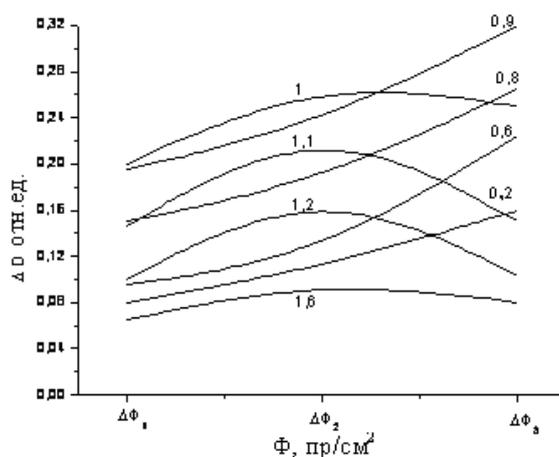


Рис. 2. Изменения значения ΔD на максимуме полосы поглощения 215 нм, на фиксированных глубинах поврежденного слоя при увеличении разности флюенсов протонов в интервалах $\Delta\Phi_1 = 10^{15} - 4 \cdot 10^{14}$, $\Delta\Phi_2 = 10^{16} - 10^{15}$ и $\Delta\Phi_3 = 10^{17} - 10^{16} \text{ см}^{-2}$

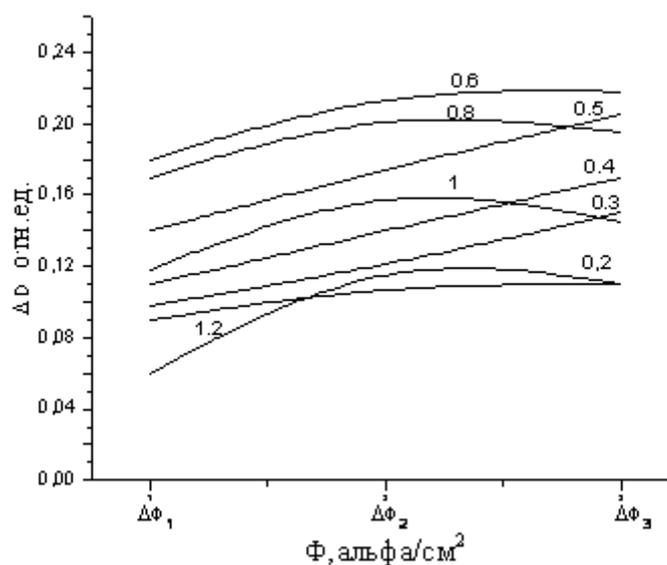


Рис.3. Изменение значения ΔD на максимуме полосы поглощения 350 нм, на фиксированных глубинах поврежденного слоя при увеличении разности флюенсов α - частиц в интервалах $\Delta\Phi_1 = 10^{15} - 4 \cdot 10^{14}$, $\Delta\Phi_2 = 10^{16} - 10^{15}$ и $\Delta\Phi_3 = 10^{17} - 10^{16} \text{ см}^{-2}$

На глубинах 0.8 и 0.9 мм концентрация E'_1 - центров значительно меньше, чем на глубинах 1, 1.1 и 1.2 мм. Поэтому на глубинах 0.8 и 0.9 мм вероятность образования зародышей АФ также меньше и вплоть до 10^{17} см^{-2} концентрация зародышей АФ не достигает критической величины, необходимой для образования квазиаморфного слоя. Этим обусловлено увеличение значения ΔD на этих глубинах вплоть до флюенса 10^{17} см^{-2} . Аналогичные результаты получены и в кристаллах кварца с примесью железа, облученных разными флюенсами α -частиц (рис 3).

В поврежденном объеме кристаллов за счет несоответствия параметров решетки отдельных частей друг другу возникает напряжение. Согласно [6], значение напряжения увеличивается вплоть до $G_n = 2 \cdot 10^{20} \text{ кэВ} \cdot \text{см}^{-3}$, при котором возникают зародыши АФ. При значениях, больших, чем $G_n = 2 \cdot 10^{20} \text{ кэВ} \cdot \text{см}^{-3}$, т.е. когда в поврежденном объеме возникает квазиаморфный слой, значение напряжения уменьшается. Сопоставление показывает, что значение числа дефектов, приходящихся на 1 кэВ величины G_n , в поврежденном слое, состоящем из отдельных зародышей АФ, и в квазиаморфном слое, коррелирует с величиной напряжения, возникающего в этих слоях. Поэтому полагаем, что преимущественным является создание дополнительных E'_1 - центров за счет разрыва напряженных $\equiv \text{Si-O-Si} \equiv$ связей. Кроме того, вблизи зародышей АФ образуется большое число разорванных Si-O связей и локально свободный микрообъем, который также повышает вероятность образования дополнительных E'_1 - центров.

Четвертая глава посвящена изучению влияния зародышей АФ кварца на процессы неударного создания дополнительных точечных нарушений структуры под действием γ - квантов. С этой целью исследованы спектры ЭПР предварительно облученных флюенсами $4 \cdot 10^{14} \div 10^{17} \text{ см}^{-2}$ кристаллов $\text{SiO}_2:\text{Fe}$, спектры люминесценции образцов I и II-типов, а также изучено изменение оптической плотности на максимуме ПП 215 нм по толщине поврежденного флюенсом протонов 10^{16} см^{-2} кристалла SiO_2 с примесью Al после дополнительного облучения разными дозами γ - квантов. Обнаружено, что в спектре ЭПР кристаллов, облученных флюенсами $4 \cdot 10^{14}$, 10^{15} см^{-2} , наблюдается один сигнал с $g = 2.0013$, приписываемый в литературе Fe^{3+} , изоморфно замещающим Si^{4+} в тетраэдре. Его интенсивность уменьшается с ростом флюенса протонов, и при 10^{17} см^{-2} сигнал исчезает. При флюенсе 10^{16} см^{-2} в спектре ЭПР появляется сигнал с $g = 2.0013$. Аналогичный сигнал ЭПР, связанный с E_1' -центром, наблюдается и в кварцевых стеклах. Интенсивность сигнала с $g = 2.0013$ увеличивается с повышением флюенса облучения. Последующее воздействие γ - квантов источника Co^{60} на кристаллы, облученные флюенсом $4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, приводит к появлению этого сигнала, начиная с дозы 10^6 Р . Поскольку при облучении γ - квантами источника Co^{60} образование зародышей АФ не происходит, то можно утверждать, что в кристаллах, облученных флюенсом $4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2}$, существуют зародыши АФ, содержащие E_1' -центры. Под действием γ - квантов создаются дополнительные E_1' -центры в аморфной фазе кварца. Эффективность их образования увеличивается с ростом флюенса предварительного облучения, т.е. с ростом концентрации зародышей АФ. Сравнение показывает, что кинетика накопления E_1' -центров и изменения интенсивности полосы люминесценции 470 нм, обусловленной рекомбинацией дырок с E_1' -центрами, находящимися в аморфных областях, совпадает. Считаем, что создание дополнительных E_1' -центров происходит неударным путем за счет безызлучательного распада экситонов в объеме зародышей АФ.

Полоса 470 нм наблюдается и в спектре люминесценции образцов I и II-типа. Под действием γ - квантов наблюдается двухстадийное увеличение ее интенсивности. Значение дозы γ - квантов, при котором начинается вторая стадия увеличения интенсивности, т. е. создание дополнительных центров люминесценции, меньше в кристаллах II типа. Это связано с тем, что количество зародышей аморфной фазы, содержащих E_1' -центры, в образцах II типа больше, чем в образцах I типа.

Исследования изменения оптической плотности на максимуме ПП 215 нм по толщине поврежденного флюенсом протонов 10^{16} см^{-2} слоя кристаллов $\text{SiO}_2:\text{Al}$ после воздействия разных доз γ -квантов показали, что с увеличением дозы γ - квантов наблюдается повышение эффективности создания дополнительных дефектов по всей толщине поврежденного слоя. В поврежденной области толщиной $L_1 \leq R_0$, как и при повышении флюенса p , d и α - частиц, наблюдается увеличение эффективности создания дополнительных дефектов с ростом толщины поврежденного слоя. Это, по-видимому, обусловлено изменением типа и увеличением концентрации предварительно существующих нарушений структуры.

Обнаружено, что в предварительно облученных кристаллах создание дополнительных дефектов под действием γ - квантов происходит и за пределами поврежденного слоя, т.е. на границе поврежденной и неповрежденной частями кристалла. На границе раздела поврежденных и неповрежденных частей кристалла из-за различия параметров решетки возникает напряжение. Это обуславливает создание стабильных E_1' - центров под действием γ - квантов на глубинах кристалла больше, чем глубина проникновения падающих частиц.

Глава завершается исследованием спектра люминесценции кристаллов, выращенных на затравках, облученных разными флюенсами нейтронов, в интервале температуры 77-300К. В спектре ГЛ этих кристаллов, измеренном в указанном интервале температуры, наблюдаются полосы с максимумами при 490 и 470 нм. Увеличение дозы γ - квантов приводит к уменьшению интенсивности полосы 490 нм, а интенсивность полосы 470 нм с ростом дозы γ - квантов увеличивается. Согласно данным [2], в кристаллах, выращенных на нейтронно - облученных затравках, существует аморфная фаза кварца, содержащая E_1' - центр. Под действием γ - квантов в аморфной фазе создаются дополнительные E_1' - центры, что обуславливает увеличение интенсивности полосы 470 нм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследована кинетика накопления E_1' - и E_1' - подобных центров по толщине кристаллов кварца поврежденного флюенсами протонов, дейтонов и α - частиц $4 \cdot 10^{14} \div 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Установлено, что повышение флюенса падающих частиц приводит к изменению вероятности образования E_1' - и E_1' - подобных центров по толщине поврежденного слоя кристалла, где создание дефектов происходит ударным путем. Это хорошо проявляется в сдвиге максимума распределения R_m дефектов структуры в область меньших глубин с увеличением флюенса падающих частиц. Это обусловлено увеличением концентрации дефектов и изменением структурного состояния кристалла на фиксированных глубинах R_m поврежденного слоя по мере роста флюенса падающих частиц в интервале $4 \cdot 10^{14} \div 10^{17} \text{ см}^{-2}$.

2. На основе результатов исследования спектров люминесценции и ЭПР кристаллов, облученных флюенсами протонов $4 \cdot 10^{14} \div 10^{17} \text{ см}^{-2}$, отдельного изучения спектров поглощения и люминесценции поврежденных частей кристалла, установлено, что зародыши АФ, содержащие E_1' - центры и НАК, образуются в поврежденном за счет упругих потерь энергии протонов слое кристалла.

3. Исследованы спектры ФЛ номинально чистых кристаллов кварца, предварительно содержащих разные концентрации вакансий кислорода и зародышей АФ, до и после дополнительного облучения γ - квантами источника Co^{60} и нейтронами. Показано, что с ростом концентрации вакансий кислорода и зародышей АФ эффективность создания под действием γ - квантов дополнительных вакансий кислорода и НАК в объеме зародышей АФ кварца увеличивается. Повышение концентрации предварительных нарушений структуры приводит к росту вероятности образования зародышей АФ под действием нейтронов. Образование зародышей АФ происходит за счет термических пиков.

4. Установлено, что вероятность образования дополнительных E_1' - и E_1' -подобных центров на глубинах 1, 1.1 и 1.2 мм поврежденного протоном слоя кристаллов увеличивается вплоть до флюенса $\Phi=10^{16}$ см⁻², а при $\Phi \geq 10^{17}$ см⁻² – уменьшается. Это обусловлено увеличением концентрации зародышей АФ вплоть до $\Phi=10^{16}$ см⁻², а при $\Phi \geq 10^{17}$ см⁻² образованием на этих глубинах квазиаморфного слоя, так как число дефектов, приходящихся на 1 кэВ величины G_n , в поврежденных слоях, состоящих из отдельных зародышей АФ, больше, чем в квазиаморфном слое. Дополнительные E_1' -центры создаются преимущественно за счет разрыва напряженных $\equiv\text{Si}-\text{O}-\text{Si}\equiv$ связей.

5. Показано, что на глубинах 0.8 и 0.9 мм, содержащих меньшую концентрацию E_1' -центров, чем на глубинах 1, 1.1 и 1.2 мм, вероятность образования дополнительных E_1' - и E_1' -подобных центров увеличивается вплоть до флюенса 10^{17} см⁻². Это, по-видимому, обусловлено тем, что на этих глубинах вероятность образования зародышей АФ меньше чем на глубинах 1, 1.1 и 1.2 мм и вплоть до 10^{17} см⁻² концентрация зародышей АФ не достигает критической величины, необходимой для образования квазиаморфного слоя.

6. Исследованы спектры ЭПР кристаллов кварца с примесью Fe, предварительно облученных флюенсами протонов $4 \cdot 10^{14} \div 10^{17}$ см⁻², до и после дополнительного облучения разными дозами γ -квантов источника ⁶⁰Со. Показано, что в спектре ЭПР существует сигнал, принадлежащий E_1' -центру, находящейся в аморфной фазе кварца. Под действием γ -квантов концентрация E_1' -центров увеличивается. Эффективность их образования увеличивается с ростом флюенса предварительного облучения. Это обусловлено повышением эффективности неударного создания под действием γ -квантов дополнительных E_1' -центров ростом концентрации зародышей АФ кварца.

7. Изучены спектры люминесценции поврежденных за счет неупругих и упругих потерь энергии протонов частей кристалла до и после воздействия разных доз γ -квантов. Установлено, что вероятность образования дополнительных E_1' -центров, находящихся в объеме зародышей АФ и обуславливающих появление полосы люминесценции 470 нм, увеличивается с ростом концентрации зародышей АФ.

8. Исследовано распределение E_1' -центров по толщине предварительно облученных кристаллов кварца после γ -облучения. Показано, что увеличение концентрации точечных дефектов структуры и зародышей АФ на фиксированных глубинах поврежденного слоя повышает эффективность неударного создания дополнительных E_1' -центров под действием γ -квантов.

9. Обнаружено, что за пределами поврежденных протоном, дейтоном и α -частицами слоев кристалла наблюдается создание стабильных E_1' -центров под действием γ -квантов. С ростом дозы облучения эффективность создания дополнительных E_1' -центров увеличивается. Это обусловлено повышением величины напряжения, возникающего на границе раздела поврежденной и неповрежденных частей кристалла, с увеличением дозы γ -квантов.

10. Исследованы процессы, протекающие под действием γ -квантов в кристаллах кварца, предварительно содержащих разные концентрации зародышей

β - и аморфной фаз. Показано, что увеличение концентрации зародышей β - и аморфной фаз приводит к росту вероятности образования дополнительных E'_1 -центров в аморфной фазе кварца.

ЦИТИРУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Вахидов Ш.А., Ибрагимов Ж.Д., Нуритдинов И., Хатамов К. О радиационном дефектообразовании в кристаллах α - корунда при протонном облучении // ДАН СССР.- Москва, 1986. -Т.288, № 2. -С.348-350.
2. Ибрагимов Ж.Д. Радиационно-стимулированные эффекты в кристаллах кварца и берлинита с различным типом и степенью совершенства структуры.: Автореф. дис.... док. физ - мат.наук. – Ташкент: ИЯФ АН РУз, 2001. -39с.
3. Harbsmeier F., Bolse W. Ion beam induced amorphization in α quartz // J. Appl. Phys. Japan, 1998. -V.83. № 8. -P. 4049-4054.
4. Fischer H., Gots G., Karge H. Radiation damage in ion implanted quartz crystals. II. Annealing Behaviour // Phys. St. Sol. (a).- 1983. -vol. 76.- P. 493 – 498.
5. Douillard L., Duraud J.P. Swift heavy ion amorphization of quartz- comparative study of the particle amorphization mechanism of quartz // Nucl. Instr. and Methods in Phys. Res. - 1996. - V. B107. № 1.- P. 212-217.
6. Arnold G.W. Ion implantation effects in crystalline quartz // Nucl. Instr. and methods in phys. res.- 1992.- В 65.- P.213 – 216.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Бобоярова Ш.Г., Ибрагимов Ж.Д., Рахимов Э.Т., Турдиев Р.Т., Хушваков О.Б. Процессы ударного и неударного создания дефектов заряженными частицами в кристаллах кварца с различной степенью дефектности структуры // Узбекский физический журнал.- Ташкент, 1998.- № 4.- С. 68-72.
2. Бобоярова Ш.Г., Ибрагимов Ж.Д., Турдиев Р.Т., Хушваков О.Б. О влиянии дефектности структуры кристаллов кварца на процессы ударного и неударного создания дефектов // Радиационная физика твердого тела: Труды IX-го Международного совещания. - Севастополь, 1999.- С. 105-113.
3. Бобоярова Ш.Г., Вахидов Ш.А., Ибрагимов Ж.Д., Турдиев Р.Т., Хушваков О.Б. О влиянии дефектности структуры кристаллов кварца на процессы радиационного дефектообразования // Атомная энергия.- Москва, 1999.- т.87, в.2. - С.156-159.
4. Бобоярова Ш.Г., Вахидов Ш.А., Ибрагимов Ж.Д., Турдиев Р.Т., Хушваков О.Б., Юлдашев А.Д. Влияние аморфизации структуры кристаллов кварца на процессы радиационного дефектообразования // ДАН РУз.- Ташкент, 1999.- №11.- С. 21 - 26.
5. Бобоярова Ш.Г., Вахидов Ш.А., Ибрагимов Ж.Д. О влиянии структурных нарушений кристаллов кварца, выращенных на нейтронно-облученных затравках, на процессы создания дефектов под действием γ - лучей // Радиационная физика твердого тела: Труды XIII Международного совещания.- Севастополь, 2003.- С.438-443.
6. Бобоярова Ш.Г., Ибрагимов Ж.Д., Нуритдинов И., Рахимов Э.Т. О влиянии изменения типа и концентрации дефектов структуры кристаллов кварца при облучении протонами с энергией 18 МэВ на процессы ударного и неударного

создания дополнительных точечных дефектов // Радиационная физика твердого тела: Сборник научных трудов XIX Международного совещания.- Севастополь, 2009.- С. 523 -529.

7. Ашурупов М.Х., Бобоярова Ш.Г., Ибрагимов Ж.Д., Мустафакулов А.А., Турдиев Р.Т., Хушваков О.Б., Юлдашев А.Д. О зависимости процессов дефектообразования в совершенных и дефектных кристаллах кварца, берлинита от вида радиации // Современные проблемы ядерной физики: Тез. докл. Межд. конф. 9-12 сентября 1997, Самарканд.- Ташкент: ИЯФ АН РУз, 1997.- С.172.

8. Бобоярова Ш.Г., Ибрагимов Ж.Д., Мустафакулов А.А., Турдиев Р.Т., Хушваков О.Б. О механизме создания точечных дефектов и аморфизации структуры кристаллов кварца под действием нейтронов и протонов // Проблемы теоретической физики и физики твердого тела: Тез. докл. Межд. конф. - Бухара, 1997.- С.73.

9. Boboyarova Sh.G., Hushvakov O.B., Ibragimov J.D., Turdiev R.T. The influence of point defects and amorphization of quartz crystal structure on processes of impact and subthreshold defect formation // 3 rd School and Workshop on Cyclotrons and applications: Book of abstracts.- Cairo, Egypt, 1999.- P.23.

10. Бобоярова Ш.Г., Вахидов Ш.А., Ибрагимов Ж.Д., Турдиев Р.Т., Хушваков О.Б. О возможности использования кварца в качестве дозиметра заряженных частиц // Космические исследования, технологии и конверсия- IV: Тезисы докл. науч. - практ. конф.- Ташкент, 1999.- С.82-83.

11. Boboyarova Sh.G., Ibragimov J.D., Mustafakulov A.A., Turdiev R.T. Influence of radiation induced defects on luminescence of quartz crystals // Modern problems of nuclear physics: Abstracts the third international conference 23-27 August, Bukhara. – Tashkent: Institute of nuclear physics, 1999.- P.312.

12. Бобоярова Ш.Г., Ибрагимов Ж.Д., Турдиев Р.Т., Рахимов Э.Т. О радиационном дефектообразовании в кристаллах кварца с различным типом и степенью беспорядка структуры // Проблемы производства поли- и монокристаллического кремния для микроэлектроники и солнечной энергетики: Тез. докл. Межд. конф. - Андижан, 2000.- С.70.

13. Бобоярова Ш.Г., Ибрагимов Ж.Д., Турдиев Р.Т. Влияние термообработки и протонного облучения на оптические свойства кристаллов кварца с примесью железа // Ядерная и радиационная физика: Тезисы докл. 3^й Межд. конф. –Алматы: ИЯФ НЯЦ РК, 2001.- С. 319.

14. Бобоярова Ш.Г., Вахидов Ш.А., Ибрагимов Ж.Д., Турдиев Р.Т. О радиационном дефектообразовании в кристаллах кварца, выращенных на нейтронно-облученных затравках // Ядерная и Радиационная физика: Тезисы докл. 3^й Межд. конф. –Алматы: ИЯФ НЯЦ РК, 2001.- С. 382 – 383.

15. Boboyarova Sh.G., Vakhidov Sh.A., Ibragimov J.D., Nuritdinov I., Turdiev R.T. Defect formation in synthetic amethyst under action of different radiation // Nuclear Science and its Application: Abstracts of the II Eurasian Conference. – Almaty: INP NNC RK, 2002.- P.202-203.

16. Бобоярова Ш.Г., Ибрагимов Ж.Д., Рахимов Э.Т., Хушваков О.Б. О влиянии степени дефектности структуры на процессы дефектообразования под действием γ - лучей // Ҳозирги замон физикасининг долзарб муаммолари: I Респ. илмий-назарий конф. материаллари.- Термез, 2002.- С.51-52.

17. Boboyarova Sh.G., Ibragimov J.D., Nuritdinov I. On the influence of the thermal processing and additional irradiation on the quartz crystals with a different structure degree // Solid State Physics: Abst. of the VIII intern. conf. – Almaty: INP NNC RK, 2004. - P. 233-234.

18. Бобоярова Ш.Г., Ибрагимов Ж.Д., Мустафакулов А.А., Нуритдинов И., Турдиев Р.Т. О многотипности центров свечения вблизи 2 эВ в кристаллах кварца // Ядерная и Радиационная физика: Тез. докл. Межд. конф. – Алматы: ИЯФ НЯЦ РК, 2007. - С. 343-344.

19. Бобоярова Ш.Г., Ибрагимов Ж.Д., Турдиев Р.Т., Хушваков О.Б. О влиянии радиационно-наведенных нарушений структуры кварца с примесью Ge на процессы дефектообразования под действием γ – лучей // Замоновий физиканинг фундаментал ва амалий муаммолари: Респ. илмий-амалий конф. материаллари тўплами.- Ташкент: УзМУ, 2007.- С. 94-95.

20. Бобоярова Ш.Г., Ибрагимов Ж.Д., Ибрагимов А., Нуритдинов И., Турдиев Р.Т. Исследование аморфизации структуры кварца с примесью Fe под действием заряженных частиц люминесцентным методом // Замоновий физиканинг фундаментал ва амалий муаммолари: Респ. илмий-амалий конф. материаллари тўплами. - Ташкент: УзМУ, 2007.- С. 95-96.

21. Boboyarova Sh.G., Ibragimov J. D. Nuritdinov I. Influence of the type and concentrations of primary damages of structure of crystals of quartz on additional defect production under of γ – ray and neutrons // Nuclear science and its application: Book of abstracts the fifth Eurasian conference.- Ankara, 2008.- P. 178-179.

22. Бобоярова Ш.Г., Ибрагимов Ж.Д., Мустафакулов А.А., Нуритдинов И. О влиянии изменения типа и концентрации нарушений структуры кристаллов SiO₂ на процессы ударного и неударного создания дополнительных точечных дефектов // Современные проблемқ физики и физического образования: Тезисы докл. Респ. конф. 11-12 декабря 2009.– Самарканд: СамДУ, 2009. - С. 112-113.

РЕЗЮМЕ

диссертации **Бобояровой Шарофат Ганиевны** на тему «Влияние структурных превращений на процессы ударного и неударного создания дефектов в кристаллах кварца» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Ключевые слова: Кристаллы кварца, фазовые превращения, центры окраски и свечения, γ - кванты, нейтроны, протоны, дейтоны, α -частицы, вакансии кислорода, немостиковые атомы кислорода, аморфная фаза, квазиаморфный слой

Объекты исследования: Неударное и ударное дефектообразование в кристаллах кварца, содержащих разные типы дефектов структуры

Цель работы: Исследование влияния структурных превращений в кристаллах кварца на процессы создания дополнительных точечных нарушений структуры неударными и ударными путями

Методы исследования: Стандартные оптические методы, метод изучения распределения дефектов структуры по толщине поврежденных p , d и α -частицами слоев кристаллов кварца

Полученные результаты и их новизна: Впервые исследовано влияние изменения типа и увеличения концентрации дефектов на фиксированных глубинах поврежденных слоев кристалла на процессы создания дополнительных дефектов структуры неударным и ударным путями. Показано, что зародыши АФ, содержащие E_1' - центры и НАК, образуются в слое кристалла, поврежденном за счет упругих потерь энергии p , d и α – частиц. Увеличение концентрации зародышей АФ на фиксированных глубинах поврежденного слоя повышает вероятность создания дополнительных точечных дефектов неударным и ударным путями. Эффективность ударного создания дополнительных точечных дефектов в поврежденных слоях кристаллов кварца, содержащих точечные дефекты и отдельные зародыши АФ, больше, чем в сплошном квазиаморфном слое. Показано, что изменение типа и увеличение концентрации предварительных нарушений структуры повышает вероятность неударного создания дополнительных точечных дефектов. В кристаллах кварца, состоящих из смеси α - , β - и аморфной фаз, с ростом концентрации β – фазы эффективность неударного создания дополнительных E_1' - центров в аморфной фазе кварца увеличивается.

Практическая значимость: Полученные результаты вносят заметный вклад в теорию радиационных повреждений структуры твердых тел и важны при установлении зависимости неударных и ударных механизмов создания дополнительных точечных дефектов от типа и концентрации предварительных нарушений структуры кристаллов кварца.

Степень внедрения и экономическая эффективность Результаты исследований могут быть использованы при усовершенствовании способов синтеза кристаллов кварца, решении проблем, связанных с изучением и созданием новых радиационно-стойких и чувствительных материалов на основе разных структурных модификаций SiO_2 .

Области применения результатов: Физика конденсированного состояния, выращивание кристаллов, оптическое приборостроение, нанотехнология.

Физика-математика фанлари номзоди илмий даражасига талабгор **Бобоярова Шарофат Ганиевнанинг** 01.04.07 - конденсатланган ҳолат физикаси ихтисослиги бўйича «Кварц кристалларида структуравий ўзгаришларнинг тўқнашувли ва тўқнашувсиз йўллар билан нуқсонлар ҳосил бўлиш жараёнларига таъсири» мавзусидаги диссертациясининг

РЕЗЮМЕСИ

Таянч сўзлар: Кварц кристалли, фазавий ўзгаришлар, рангланиш ва нурланиш марказлари, γ -квантлари, нейтрон, протон (p), дейтон (d), α – заррача, кислород вакансияси, боғланмаган кислород атоми, аморф фаза, квазиаморф қатлам.

Тадқиқот объектлари: Ҳар-хил турдаги структуравий нуқсонлари бор бўлган кварц кристалларида тўқнашувли ва тўқнашувсиз йўллар билан нуқсонлар ҳосил бўлиши

Ишнинг мақсади: Кварц кристалларида структуравий ўзгаришларнинг тўқнашувли ва тўқнашувсиз йўллар билан қўшимча нуқтавий нуқсонлар ҳосил бўлиш жараёнларига таъсири.

Тадқиқот усуллари: Стандарт оптик усуллар ва кварц кристалларида p, d, α – зарралар таъсирида структураси бузилган қатламда вужудга келган нуқсонларнинг қалинлик бўйича тақсимланишини ўрганиш усули.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: Биринчи марта кристалларнинг бузилган қатламидаги қайд этилган чуқурликларидаги нуқсонлар турининг ўзгариши ва миқдори ортишининг тўқнашувли ва тўқнашувсиз йўллар билан қўшимча нуқсонлар ҳосил бўлиш жараёнига таъсири ўрганилди. p, d, α – зарраларнинг эластик тўқнашувларга сарф бўлган энергияси ҳисобига бузилган қатламда таркибида E_1' - марказлар, боғланишсиз кислород атомлари бўлган аморф фаза (АФ) ҳомиласи ҳосил бўлиши кўрсатилди. АФ ҳомилалари сонининг ортиши тўқнашувли ва тўқнашувсиз йўллар билан қўшимча нуқсонлар ҳосил бўлиш самарадорлигини оширади. Таркибида нуқтавий нуқсонлар ва алоҳида АФ бўлган бузилган қатламда тўқнашувли йўл билан қўшимча нуқтавий нуқсонлар ҳосил бўлиш самарадорлиги квазиаморф қатламга нисбатан катталиги кўрсатилди.. Таркибида α -, β -, аморф фазалар бор кварц кристалларида β - фаза миқдорининг ортиши, АФ да тўқнашувсиз йўл билан қўшимча E_1' - марказлар ҳосил бўлиш самарадорлигини оширади.

Амалий аҳамияти: Олинган натижалар қаттиқ жисмларда радиацион нуқсонлар ҳосил бўлиш назариясини такомиллаштиришда, кварц кристаллида тўқнашувли ва тўқнашувсиз йўл билан қўшимча нуқтавий нуқсонлар ҳосил бўлишининг олдиндан мавжуд бўлган нуқсонлар тури ва миқдоридан боғлиқлигини ўрганишда муҳим аҳамиятга эга.

Тадбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: Тадқиқот натижалари кварц кристалларини ўстириш усулларини такомиллаштиришда, SiO_2 нинг ҳар хил структуравий кўринишлари асосида янги радиация таъсирига чидамли ва сезгир материаллар яратиш билан боғлиқ муаммоларни ечишда қўлланилиши мумкин.

Қўлланилиш соҳаси: Конденсатланган ҳолат физикаси, кристалл ўстириш, оптик асбобсозлик, нанотехнология.

RESUME

Thesis of **Boboyarova Sharofat Ganievn**a

on the scientific degree competition of the doctor of philosophy in Physics and Mathematics sciences speciality 01.04.07 – Physics of condensed matter subject: «Influence of structure transformations on the processes of impact and non-impact formation of defects in quartz crystals»

Key words: quartz crystals, phase transitions, colour and luminescence centres, γ - quanta, neutrons, protons, deuteron, α -particle, oxygen vacancy, non-bridge oxygen hole centres (NBOHC), amorphous phase, quasi-amorphous layer.

Subjects of research: impact and non-impact formation of defects in quartz crystals containing various types of structure defects.

Purpose of the work: To study the influence of the structure transformations in quartz crystals on the processes of impact and non-impact formation of additional point structure imperfections.

Methods of research: standard optical methods, study of defects depth distribution of the defects caused by p, d and α -particles in layers of quartz crystals.

The results obtained and their novelty: For the first time, the influence of change in type and increase in concentration of defects at particular depth in the damaged layers of the quartz crystal on the processes of impact and non-impact formation of additional structure defects was studied. It was demonstrated that the nucleus of amorphous phase (AP), containing E_1' - centres and NBOHC, are formed in the layer of crystal damaged by elastic energy losses by p, d and α – particles. Such increase in AP nucleus concentration at particular depth of the damaged layer increases the probability of impact and non-impact formation of additional point defects. The efficiency of impact formation of additional point defects in the layers of the quartz crystals damaged by p, d and α – particles in the layers, containing point defects and some individual AP nuclei, is higher than in the continuous quasi-amorphous layer. It is shown that the probability of non-impact formation of additional point defects increases with change in type and increase of concentration of preliminary structure imperfections. In the quartz crystals, containing the mixture of α -, β - and amorphous phases, the efficiency of non-impact formation of additional E_1' - centres in amorphous phase of quartz increases with the β – phase concentration.

Practical value: The results of this work make a significant contribution to the theory of radiation-induced structure defects in solids, and are of special importance for determination of the impact and non-impact formation of additional point defects dependence on the type and concentration of preliminary structure imperfections in quartz crystals.

Degree of embed and economic effectivity: The results of research work can be used when modifying the quartz crystals synthesis, and when solving problems, connected with the study and construction of new radiation-stable and sensitive materials on the basis of various structure modifications of SiO_2 .

Field of application: fiber optics, crystal growth, optic instrument industry, solid-state physics.

Соискатель: