

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD)
6D060400 – Физика

РУСАКОВА АЛЁНА ВИКТОРОВНА

Центры окраски и нанодфекты в кристаллах LiF, облученных быстрыми ионами

Актуальность работы: Щелочногалоидные кристаллы (ЩГК) на протяжении многих лет являются актуальными объектами, как для фундаментальных исследований, так и для различных применений. На их основе предложены оптические среды для записи и хранения информации, лазерные среды, светофильтры ближнего ИК диапазона, термолюминесцентные дозиметры. Кристаллы LiF, благодаря тканеэквивалентности, широко используются в дозиметрии (в радиобиологии, лучевой терапии, индивидуальном дозиметрическом контроле). Центры окраски в кристаллах LiF используют для разработки новых эффективных импульсных лазеров. Тонкие пленки кристаллов LiF с центрами окраски используют для записи и обработки информации.

Следует подчеркнуть, что кристаллы LiF являются модельными матрицами при изучении широкого ряда проблем физики твердого тела.

Фтористый литий также используется для биологической защиты ядерных реакторов на нейтронах. В настоящее время появились перспективы использования лития в качестве активного элемента в термоядерном синтезе.

Целью работы является исследование процессов образования электронных центров окраски и нанодфектов в кристаллах LiF при облучении высокоэнергетическими тяжелыми и легкими ионами. Процессы образования дефектов изучались в зависимости от потерь энергии ионов, от мощности ионного пучка и поглощенной энергии (флюенса).

Объектами исследований в работе были выбраны кристаллы фтористого лития (LiF). В этих кристаллах хорошо изучено образование центров окраски при облучении электронами и рентгеновскими лучами, что позволяет раскрыть особенности процессов при облучении ионами.

Для достижения поставленной цели в диссертации решались **следующие задачи:**

1. спектроскопические исследования ЦО кристаллов LiF при облучении различными ионами;
2. исследование кинетики накопления простых и сложных электронных центров окраски в кристаллах LiF при облучении тяжелыми и легкими ионами;
3. отработка комплексных методик исследования радиационных повреждений в облученных кристаллах LiF с применением оптической и люминесцентной

спектрометрии, сканирующей электронной и атомно – силовой микроскопии;

4. Выявление роли анионных вакансий в образовании сложных ЦО при облучении и отжиге
5. Исследование нанодфектов на поверхности и в объеме в облученных кристаллах фтористого лития с помощью химического травления, сканирующего электронного микроскопа и атомно-силового микроскопа.

Обоснованность и достоверность результатов работы обусловлена:

1. Оригинальностью поставленных задач и выбором методик исследований.
2. Использованием хорошо апробированных методик измерения оптических свойств кристаллов и взаимодополняющих методов физического эксперимента, таких как, люминесценции, электронная и силовая микроскопии, механических характеристик кристаллов.
3. Объемом и статистикой экспериментальных данных и их анализом.

Методы исследования. В работе использовалась абсорбционная спектроскопия для оценки типов и концентрации наведенных центров окраски при облучении ионами. Применялась люминесцентная спектроскопия для разделения F_2 и F_3^+ центров окраски в процессе облучения и отжига облученных кристаллов. Поверхностные наноструктурные дефекты изучались методами сканирующей электронной и атомно-силового микроскопии. Механические свойства кристаллов исследовались с использованием метода наноиндентирования.

Научная новизна работы: впервые экспериментально показана роль F_2 и F_3^+ центров окраски и анионных вакансий (V_a^+) в процессе облучения и отжига в кристаллах LiF. Выявлены особенности образования F и F_n ЦО в зависимости от электронных потерь энергии ионов. Изучены нанодфекты на поверхности и в объеме в облученных ионами кристаллах LiF.

Положения, выносимые на защиту:

1. Концентрация одиночных F центров с увеличением поглощенной энергии насыщается до $N_F^{\text{sat}} \sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Насыщение N_F^{sat} для тяжелых ионов ^{84}Kr осуществляется при меньшей поглощенной энергии, чем для легких ионов ^{14}N .
2. Образование сложных F_n центров окраски зависит как от потерь энергии ионов, так и от поглощенной энергии. В спектре поглощения различных F_n центров доминируют F_2 и F_3^+ центры окраски.
3. В кристаллах LiF облученных ионами азота (^{14}N) обнаружено уменьшение концентрации одиночных F и сложных F_n центров при больших поглощенных энергиях ввиду образования более крупных агрегатов.
4. В кристаллах LiF, облученных ионами ^{84}Kr обнаружены нанодфекты (нанокристаллиты, дислокационные петли) на поверхности и в глубине вдоль трека. В кристаллах LiF облученных ионами азота (^{14}N) обнаружены только дислокационные петли.

Практическая значимость полученных результатов:

Результаты диссертации могут быть использованы:

- При оптимизации дозиметров ионизирующих излучений.
- При моделировании эффектов вызываемых осколками деления в диэлектрических материалах, в том числе в минералах для геологии.
- Для оптимизации кристаллов LiF для лазеров на центрах окраски.
- Для оптимизации кристаллов LiF для записи и обработки информации.

Заключение. Основные выводы и результаты работы:

В результате проведения комплексных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) Определено, что концентрация одиночных центров окраски (F центров) насыщается ($N_F^{\text{sat}} \sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$) с увеличением поглощенной энергии. Насыщение наступает раньше для ионов с большим значением dE/dx .
- 2) Экспериментально показано, что для ионов ^{14}N при больших поглощенных энергиях, наблюдается как снижение концентрации одиночных F , так и комплексных F_n центров за счет образования более крупных агрегатов. Этот эффект отсутствует в кристаллах LiF, облученных ионами ^{84}Kr .
- 3) Установлено, что эффективность люминесценции для F_2 и F_3^+ центров окраски в кристаллах LiF облученных ионами ^{14}N , ^{40}Ar и ^{84}Kr снижается как с увеличением dE/dx иона, так и с увеличением поглощенной энергии.
- 4) В кристаллах, облученных ионами ^{84}Kr ($\Phi \geq 10^{13} \text{ ион/см}^2$) обнаружены столбчатые наноструктуры (30-90 нм) в области трека с критической потерей энергии ($dE/dx \geq 10 \text{ кэВ/нм}$); в остальной части трека образуются только дислокационные петли;
- 5) Экспериментально подтверждено, что наноструктуры термически стабильны до температуры $T=500\text{K}$. При более высоких температурах нанокристаллиты распадаются на множество дислокаций, которые постепенно отжигаются при $T \approx 830 \text{ K}$ с восстановлением исходной структуры.
- 6) Показано, что облучение под углом приводит к уменьшению упрочненного слоя сохраняя структуру, созданных нанодефектов.
- 7) Показано, что при облучении кристаллов LiF легкими ионами (^{14}N и ^{40}Ar) формируется одностипная структура, богатая дислокациями и обладающая повышенной твердостью.

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие в постановке задачи диссертации и во всех исследованиях, представленных в работе, в том числе и при облучении кристаллов на циклотроне ДЦ-60.

Апробация работы.

По материалам диссертации опубликовано 23 печатные работы, из них 3 статьи входят в базу Thomson Reuters (Nuclear Instruments and methods in Physics Research B, ИФ-1,66); 3 статьи, рекомендованны ККСОН МОН РК и 15 материалов тезисов международных конференций.