

Государственный контракт

от 26 мая 2010 г. № П892.

«Нелинейные эффекты, индуцируемые в кремнии облучением заряженными частицами».

Влияние механических и тепловых воздействий на структуру и свойства твердых тел на сегодняшний день изучено достаточно полно, что стало основой большого числа традиционных деформационных, термических и механо-термических технологий. На фоне многовековой истории этих исследований и технологических достижений изучение закономерностей и физических механизмов действия электромагнитных и радиационных полей во всем их разнообразии можно считать относительно молодым и во многом не завершенным. В отличие от механических или термических воздействий (влияющих на объемные свойства материала), «полевые» воздействия (ионизирующее облучение, электрические и магнитные поля и др.) являются избирательными, то есть действуют на определенные структурные элементы кристаллов, создавая дефекты или модифицируя их состояние. Первичные радиационные дефекты, диффундируя по объему кристалла, могут вступать в квазихимические реакции с другими (примесными и радиационными) дефектами с образованием более сложных и, как правило, менее подвижных комплексов вторичных дефектов. Физические свойства кристаллов во многом зависят от их качественного и количественного состава. Не смотря на то, что для широкого класса полупроводниковых кристаллов подавляющее большинство вторичных радиационных дефектов надежно идентифицировано и установлена их роль в формировании физических свойств, многие вопросы до сих пор остаются открытыми. Один из них связан с возможностью наблюдения аномальных (по амплитуде и характеру дозовой зависимости) откликов материала на малодозовые радиационные воздействия, когда концентрация исходных дефектов на несколько порядков величины превосходит концентрацию радиационных дефектов, генерируемых облучением. Для более глубокого понимания

природы такого рода эффектов необходима информация о качественных особенностях откликов материалов, отличающихся элементным составом и типом химической связи. Кроме того, существенный интерес, как с принципиальной, так и с практической точки зрения, вызывают индуцируемые низкоинтенсивным облучением свойства структур, представляющих собой совокупность тонких пленок, выращенных на монокристаллических подложках, в том числе кремниевых. Тонкие пленки традиционно используются в различных датчиках, системах магнитной и оптической записи и хранения информации, МЭМС/НЭМС, триботехнике, защите от коррозии и высоких температур и в других областях. Одним из наиболее перспективных материалов в опто- и микроэлектронике является нитрид алюминия, тонкие пленки которого выращивают на кремниевой подложке. Появление дополнительных внутренних границ может не только внести существенные изменения в процесс генерации первичных и формирования вторичных радиационных дефектов, но и отразиться на механических свойствах и поведении материала при локальном нагружении без внешних воздействий.

Получение многопараметровой информации об эффектах, индуцируемых низкоинтенсивным бета-облучением в полупроводниковых кристаллах, в совокупности с имеющимися литературными данными позволит развить (усовершенствовать) модельные представления о квазихимических реакциях в подсистеме структурных (собственных и радиационных) дефектов, сопровождающихся нетривиальными изменениями физических свойств. Это, в свою очередь, позволит разработать рекомендации по возможным направлениям использования полученных результатов на практике. Интеграция фундаментальных основ и достижений современной науки имеет большое значение и в образовательном процессе, что предполагает внедрение полученных в ходе выполнения проекта результатов в учебный процесс.

В связи с этим, основной целью шестого этапа работ по проекту являлось экспериментальное исследование влияния низкоинтенсивного бета-облучения на

механические свойства структур $a\text{-AlN/Si}$ и бинарных полупроводниковых кристаллов (GaAs и ZnS), а также усовершенствование модельных представлений о последовательности квазихимических реакций в дефектной подсистеме кремния в условиях низкоинтенсивного облучения и выработка рекомендаций по использованию полученных результатов в учебном процессе и в практических приложениях.

С учетом сформулированной цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести экспериментальные исследования зависимости средней длины радиальной трещины отпечатка индентора и критического коэффициента интенсивности напряжений первого рода K_{IC} (рассчитанного по длине радиальных трещин c и приложенной силе P) от глубины внедрения индентора для структур $a\text{-AlN/Si}$.
2. Провести экспериментальные исследования влияния низкоинтенсивного облучения на склонность к трещинообразованию (среднюю длину радиальной трещины отпечатка и критический коэффициент интенсивности напряжений первого рода K_{IC}) структур $a\text{-AlN/Si}$.
3. Осуществить усовершенствование модельных представлений, описывающих квазихимические реакции в подсистеме структурных (собственных и радиационных) дефектов кремния в условиях низкоинтенсивного облучения.
4. Провести экспериментальные исследования кинетики радиационно-индуцированных изменений микротвердости бинарных полупроводниковых кристаллов и выявить общие закономерности влияния низкоинтенсивного ионизирующего облучения на механические свойства реальных кристаллов.
5. Выработать рекомендации к разработке методов повышения радиационной стойкости полупроводниковых микро- и наномеханических устройств, а также экономически выгодных и малозатратных способов обработки изделий на кремниевой основе, направленной на модификацию (в том числе и кратковременную) их физических свойств.
6. Разработать рекомендации по использованию результатов исследований, связанных с влиянием низкоинтенсивного ионизирующего облучения на механические

свойства полупроводниковых кристаллов, при разработке научно-образовательных курсов («Радиационная физика», «Дефекты и физические свойства твердых тел» и др.).

Список публикаций.

1. Дмитриевский А.А., Ефремова Н.Ю., Занин А.П., Ловцов А.Р., Роль скоростного фактора при тестировании твердости облученных бета-частицами монокристаллов кремния, Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 4, 81-83 (2012).

2. Дмитриевский, А.А., Шуклинов А.В., Ловцов А.Р., Исаева Е.Ю., Бета-индуцированное уменьшение адгезии структур Cu/Si, Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования.

3. Dmitrievskiy A.A. , Lovtsov A.R. , Efremova N.Yu. , Golovin Yu.I., Korenkov V.V., Shuklinov A.V., Badylevich M., Influence of low-flux beta radiation on exfoliation of the AlN nano-foil from a silicon substrate at scratching, Thin Solid Films.