КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 539.12.043:621.039.531

DOI: 10.17223/00213411/63/12/37

В.В. ОВЧИННИКОВ

ОБ ИМИТАЦИОННОЙ ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ МАТЕРИАЛОВ *

Проанализированы теоретические и экспериментальные данные, определяющие сходство и различие процессов дефектообразования при нейтронном и имитационном ионном облучении. Анализируется роль таких факторов, как тип и энергия каскадообразующих частиц, состав и строение облучаемых материалов, температура облучения. Подвергнут корректировке ряд устоявшихся процедур расчета концентрации радиационных дефектов и числа смещений на атом при каскадообразующих видах облучения. Рассмотрены ключевые факторы, обеспечивающие подобие натуральных и имитационных экспериментов, из которых отмечены два основных: скорость набора повреждающей дозы (флакс) и температура, определяющие ход релаксационных процессов. Предложены простые методы оценки числа первично выбитых атомов при нейтронном облучении, а также доли упругих потерь энергии, идущих на процесс дефектообразования. Дано обоснование единой фрактальной структуры каскадов атомных смещений в заданной мишени независимо от природы и энергии каскадообразующих излучений.

Ключевые слова: каскадообразующие виды облучения (нейтроны, ионы), радиационная стойкость, имитационные эксперименты, радиационные дефекты, расчеты сна, фрактальная структура каскадов атомных смещений.

Введение

Материалы для внутрикорпусных устройств современных реакторов на быстрых нейтронах должны выдерживать радиационную нагрузку до 80–100 сна (смещений на атом) и более, не испытывая неблагоприятных изменений свойств. Это требует разработки новых классов материалов с повышенной радиационной стойкостью.

Натурные испытания перспективных материалов с учетом операций вылеживания с целью устранения наведенной активности занимают не менее 5–7 лет. Это не позволяет оперативно корректировать состав, а также технологии обработки предлагаемых композиций.

Сроки неактивирующих имитационных экспериментов с использованием ускоренных ионов укладываются в 1 год с полным циклом аналитических исследований. При этом с учетом отсутствия наведенной активности образцов возможно проведение широкого круга исследований, недоступных при работе с активными материалами.

В настоящее время, с одной стороны, сформировались в целом оптимистические представления в отношении возможности имитации реакторного облучения материалов с использованием пучков ускоренных ионов. С другой стороны, исчерпывающее обоснование правомерности такой имитации пока отсутствует.

На основе последних оригинальных и обобщающих публикаций (см., в частности, [1–8]) по воздействию реакторных нейтронов и ускоренных ионов на конденсированные среды возникли новые возможности анализа факторов, определяющих сходство и различие этих двух видов воздействия. Конечной целью является обоснование критериев и путей обеспечения максимальной степени подобия натуральных и имитирующих процессов.

Это касается как процессов каскадообразования при реакторном и ионном облучении, так и процессов последующей эволюции дефектной структуры. Следует учесть влияние сорта внедряемых ионов, их энергии, массы, флюенса, определяющего число смещений на атом (сна), а также влияние скорости набора флюенса. Важными являются вопросы, относящиеся к геометрическим и энергетическим параметрам так называемых «плотных каскадов» **, порождаемых первично выбитыми атомами (ПВА) либо ускоренными ионами, в ходе натуральных и имитационных испытаний. Последнее касается, в частности, высоких локальных температур (3000–6000 К) и тепловых давлений (до 40 ГПа) в термализованных наномасштабных областях прохождения плотных каскадов атомных смещений.

* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-20173).

** Компактные области, все атомы которых участвуют в столкновениях.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>