

АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ В ИОННО-ОБЛУЧЕННОМ МЕТАЛЛЕ

Исследование заключается в сопоставлении и анализе экспериментальных данных о специфических особенностях образования, пространственного распределения, эволюции и миграции на различные стоки радиационно-индуцированных нанопор в ионно-облученных ГЦК-металлах. Это металлы, имеющие гранецентрированную кубическую решетку (ГЦК). Подобную решетку имеют железо, алюминий, медь, никель, свинец и др. металлы. В процессе изучения нанопористой структуры, образующейся в поверхностных слоях металлов при обработке их различными видами радиационного воздействия, сотрудниками ИЭФ УрО РАН получен богатый экспериментальный материал, установлен ряд эмпирических закономерностей. Вместе с тем, физический смысл наблюдаемых закономерностей на данный момент не ясен, отсутствует представление о динамике возникновения и эволюции пор при облучении. По этой причине возникла необходимость создать математическую модель физических процессов, происходящих на атомном уровне в кристаллических телах. Экспериментальные данные о конфигурации и пространственном распределении радиационных повреждений на поверхности и в объеме облученных материалов являются важными исходными данными для формирования представлений о реальной структуре металлов, подвергнутых радиационному воздействию. Экспериментальные данные получают методом полевой ионной микроскопии, которая позволяет идентифицировать радиационно-индуцированные поры сколь угодно малых размеров, установить их геометрию, размеры, и их распределение в объеме облученного металла. Полевая ионная микроскопия является одной из самых структурно-чувствительных методик, обладающей не только высокой разрешающей способностью (0,2-0,3 нм), но и возможностью анализировать объем объекта исследования путем контролируемого удаления поверхностных атомов электрическим полем.

Основной характеристикой пористости в материале является функция плотности распределения пор по размерам, представляемая в виде гистограммы – образа. Подверженная трансформации в зависимости от предыстории и способа получения массива пор в материале, характера их саморазвития такая функция содержит важную информацию о физической природе процессов в системе.

Создана математическая модель для исследования объемного распределения пор в ионно-облученном материале. Процессы функционирования элементов исследуемой сложной системы записываются в виде интегро-дифференциальных уравнений, в качестве численных параметров которых закладываются физически значимые характеристики исследуемого вещества и взаимодействующего с ним излучения. Решается система интегро-дифференциальных уравнений: уравнение непрерывности, уравнение движения размеров и закон сохранения общей массы вещества. Получена функция распределения пор по размерам. Определяются численные значения параметров исследуемой системы: верхней границы относительных размеров пор, положение максимума и положение точек перегиба на кривых распределения, величины модалного радиуса и др. Полученные теоретические расчеты сопоставляются с экспериментом. Результаты сопоставления расчетных и экспериментальных данных позволяют установить механизм формирования пор при радиационном воздействии на кристаллическую решетку. Выявление характерных структурных и кинетических свойств исследуемой системы производится путем идентификационного анализа простых и кумулятивных распределений пор по размерам, их моментов и соотношений между ними с привлечением средств ПК. Выявление природы внутрисистемных процессов в массиве пор путем сопоставления экспериментального распределения – образа с его теоретическим подобием – составляет сущность и предназначение идентификационного анализа.

Предлагаемый анализ изучения газонаполненных пор, образовавшихся после ионного облучения, позволяет выявить особенности протекания процессов образования дефектов кристаллической решетки при радиационном воздействии. Результат данной работы заключается в получении новых знаний о механизме радиационного воздействия на структуру твердых тел. Эти знания будут иметь большое значение для понимания свойств облучаемых материалов, связывая макроскопический ход процессов при облучении с динамикой движения и комбинаторикой единичных точечных дефектов.

Совпадение характеристик экспериментального распределения (гистограммы) с теоретическим может служить подтверждением реальности подобранного механизма, а обнаруженные при их сравнении различия в сходстве и сходство в различиях – источником научной информации о процессах в системе.