

## ГРУППИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ДИСЛОКАЦИОННЫХ ПЕТЕЛЬ В МОЛИБДЕНЕ

В.Г. Жарков, И.И. Новиков, Н.А. Жаркова, Г.Ф. Жарков

*Предложен и опробован метод определения параметров группирования ансамбля петель в кристаллах. Обнаружен эффект группирования петель в Мо. Обсуждается пространственная и временная эволюция ансамбля петель при облучении.*

Определение параметров отклика кристалла на радиационное воздействие таких, как силы стока его дефектной структуры  $C_k$  (дислокаций, поверхности и т.п.), является одной из первоочередных задач физики радиационных повреждений материалов. В работе /1/ был предложен метод экспериментального определения этих параметров, использующий в качестве индикатора концентрации точечных дефектов растущие одиночные дислокационные петли внедрения.

Однако, метод /1/ непосредственно применим только в случае, когда растущие петли расположены хаотичным образом, и при отсутствии диффузионного взаимодействия между петлями. Если же петли проявляют тенденцию к образованию групп (кластеров), причем диффузионные воронки соседних петель группы перекрываются, то необходимо вводить поправки на степень группированности такого ансамбля петель.

В настоящей работе была предпринята экспериментальная проверка широко распространенного утверждения о хаотичности распределения петель в ансамбле. Эксперименты проводились на Мо с содержанием примесей внедрения на уровне  $10^{-3}$  вес. %. Образцы Мо облучались в высоковольтном электронном микроскопе пучком электронов интенсивностью  $\sim 10^{19} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  при температурах  $T = 300$  и  $700 \text{ K}$  до появления хорошо видимых дислокационных петель.

Для описания характеристик группирования вводилась функция  $g_i(r)$ , равная средней плотности петель в кольце радиуса  $r$  и ширины  $dr$  с центром, помещенным в  $i$ -ую петлю ансамбля. После усреднения  $g_i(r)$  по числу центров таких колец получаемая функция  $g(r)$  содержит следующую информацию: 1) среднее число петель, входящих в группу; 2) число этих групп в ансамбле; 3) средний радиус группы; 4) взаимное расположение петель в группе /2/.

Проводилось сравнение экспериментальных зависимостей  $g(r)$  с аналогичными функциями, полученными методом машинного моделирования ансамблей точек с заданной степенью группирования. Такое сравнение позволяло определить все параметры группирования (см. выше) экспериментальных ансамблей.

На основе изложенной методики получены следующие выводы из проведенных экспериментов при  $T = 300$  К: 1) максимальная величина эффекта группирования (5,5 петель в скоплении, 45% петель находятся в скоплениях) наблюдается при минимальном времени облучения (50 мин), затем эффект монотонно уменьшается; 2) уменьшение эффекта происходит за счет уменьшения среднего числа петель в группе, но не числа самих групп; 3) эффект группирования практически исчезает при дозе облучения, соответствующей  $\sim 1$  смещ./ат. (140 мин).

При  $T = 700$  К и разных толщинах образца наблюдается: 1) некоторое уменьшение среднего числа петель в группе (4,5) по сравнению с облучением при 300 К; 2) увеличение среднего радиуса групп (от 0,02 мкм до 0,05 мкм); 3) увеличение среднего расстояния между группами (от 0,1 мкм до 0,3 мкм); 4) уменьшение степени группирования во времени; 5) практическая независимость параметров группирования от толщины облучаемого участка.

Поскольку распределение петель в объеме кристалла было изотропным, оказалось возможным связать функцию радиального распределения изображений петель  $g(r)$  на плоскости фотоснимка с объемной функцией распределения  $n(R)$ , равной плотности петель в шаровом слое радиуса  $R$  и ширины  $dR$ . Эту взаимосвязь можно записать в виде /2/

$$g(r) = \int_{-l/2}^{l/2} n(\sqrt{r^2 + z^2}) dz,$$

где  $l$  — толщина фольги;  $r$  — координата в плоскости фольги; координата  $z$  направлена по нормали к фольге. Восстановление  $n(R)$  по известной  $g(r)$  проводилось с помощью ЭВМ. Эволюция ансамбля петель в пространстве и времени определялась на основе кривых  $n(R, t)$ .

Если предположить, что зависимость  $n(R)$  от времени облучения  $t$  обусловлена уходом петель на поверхность образца и ростом крупных петель за счет растворения более мелких (диффузионная коалесценция), можно получить следующие данные /2/. При приближении петли к поверхности фольги скорость петли возрастает. Это отражает эффект упругого взаимодействия петли с поверхностью. Механизм диффузионной коалесценции особенно ак-

тивно проявляется в пределах группы петель, т.е. там, где они расположены наиболее близко друг от друга.

Таким образом, в настоящей работе на основе разработанной методики /2/ были определены характеристики группирования ансамбля петель в Мо. Экспериментальные данные по эволюции этого ансамбля показывают, что эффект группирования оказывает существенное влияние на развитие отдельных петель, которые нельзя рассматривать как независимые. В связи с этим определение силы стока дислокационной петли /1/ можно проводить, рассматривая только те петли, которые не входят в группы, либо вводя эффективную силу стока петли, принадлежащей ансамблю с той или иной степенью группирования. Возникновение самого эффекта группирования можно объяснить либо гетерогенным зарождением петель в областях повышенного содержания атомов примеси, либо преимущественным зарождением петель в упругом поле искажений уже существующего зародыша.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Жарков В.Г., Новиков И.И., Жарков Г.Ф. Краткие сообщения по физике ФИАН, №11, 63, 1985.
2. Новиков И.И., и др. Препринт ФИАН № 182, М., 1984.

Поступила в редакцию 10 октября 1985 г.