

ЭФФЕКТЫ НАНОРАЗМЕРНОГО ТЕКСТУРИРОВАНИЯ В ПРИРОДНЫХ ЦИРКОНАХ

Шалаева Е.В.¹, Мурзакаев А.М.², Щанова Ю.В.³, Вотьяков С.Л.³

¹ – Институт химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург

² – Институт электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург

³ – Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург

Структурные эффекты, которые сопровождают радиационно-термические процессы в природных и синтетических силикатах, в том числе и в цирконе ($ZrSiO_4$), интенсивно исследуются как в рамках задач радиационного материаловедения, так и задач геохронологии. Актуальность таких исследований связана с применением циркона в качестве материала для захоронения ядерных отходов и минерала-геохронометра. Последнее приложение определяется достаточно высокой предельной концентрацией растворенного урана в решетке $ZrSiO_4$, а также его радиационной стойкостью.

Современный подход к изучению радиационно-стимулированных структурно-химических превращений в минералах предполагает определение карты локальных распределений элементов продуктов U-распада с оценкой радиационных доз и соответствующих микро- и наноструктурных состояний. Первым этапом таких исследований является установление возможных структурных состояний в минералах.

В настоящее время с использованием модельных синтетических кристаллов циркона установлен ряд основных структурных состояний и структурно-фазовых превращений, характерных для этих фаз в зависимости степени радиационного, а также и температурного воздействия. Наибольшая ясность существует в вопросах поведения циркона при больших дозах облучения. В этом случае достигается в зависимости от температуры либо полная аморфизация, либо фазовое разложение на два оксида и последующее восстановление циркона, но в поликристаллическом дисперсном состоянии. Низкие дозы облучения, как установлено, приводят к эффектам слабой разориентации кристалла циркона в наноразмерном масштабе и малому содержанию аморфной фазы. Полагают, что при низких дозах идут процессы эпитаксиальной кристаллизации циркона из аморфной фазы с восстановлением исходной ориентации кристалла. Структурно-фазовые эффекты, которые сопровождают промежуточные по величине радиационно-температурные воздействия, менее исследованы. Особенно, в части процессов эпитаксиальной кристаллизации. Подобные структурные эффекты могут реализовываться в цирконе, включенных в сложные природные композиты, для которых характерны неоднородные карты радиационных процессов.

В работе методами просвечивающей дифракционной и высокоразрешающей электронной микроскопии изучено структурное состояние природного циркона. Наряду с известным для радиационно-поврежденного циркона двухфазным состоянием (ультрадисперсные кристаллиты фазы ZrO_2 ($Fm\bar{3}m$) в аморфной матрице) обнаружено формирование текстуры в наноразмерных областях однофазного циркона. Наноразмерные области проявляют преимущественную ориентацию по наиболее плотноупакованным плоскостям решетки циркона – $(010) \parallel (101) \parallel (012)$, взаимно-ориентированным по совпадающим кристаллографическим направлениям. Нано-размерная комбинированная текстура наблюдается в природном цирконе впервые и рассматривается как результат эпитаксиальной кристаллизации циркона из аморфной фазы в ходе радиационно-термических воздействий на решетку циркона.