

УДК 539.216.2:620.198

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ КЕРАМИК $ZrO_2$ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОБЛУЧЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

**Алин Махамбет**

*[kazpost93@gmail.com](mailto:kazpost93@gmail.com)*

Докторант 2-го курса специальности 6D060500 "Ядерная физика"  
физико-технического факультета ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан, Казахстан  
Научный руководитель – PhD, преподаватель-исследователь Козловский А.Л.

### **Введение**

Немаловажную роль в практическом применении оксидных керамик в качестве конструкционных материалов играют характеристики устойчивости к радиационным повреждениям и стабильность структурных и механических свойств в течение длительного времени воздействия облучения [1-3]. При этом все исследования радиационных повреждений можно разделить на три группы, по типу ионизирующего излучения: 1) изучения процессов гелиевого и водородного распухания в результате облучения большими дозами гелия или протонов; 2) ионная имплантация и модификация; 3) изучение механизмов повреждений и деформаций, а также процессов трекообразования при облучении тяжелыми ионами. Среди этих направлений, особое внимание уделяется третьей группе исследований, которые позволяют не только получить новые фундаментальные данные о природе радиационных повреждений, но и с высокой точностью позволяют смоделировать условия радиационного воздействия в атомном реакторе при образовании осколков деления урана [4,5].

На основании вышесказанного, главной целью данной работы является изучение процессов радиационных повреждений и изменение механических и прочностных свойств при облучении тяжелыми ионами  $Kr^{15+}$  и  $He^{23+}$  с энергиями 147 и 220 МэВ.

### **Экспериментальная часть**

В качестве исследуемых объектов были выбраны поликристаллические керамики  $ZrO_2$  производства Dongguan Mingrui Ceramic Tech. Co. Ltd. (Dongguan city, Guangdong, China).

Облучение тяжелыми ионами  $Kr^{15+}$  и  $He^{23+}$  с энергиями 147 и 220 МэВ соответственно проводилось на ускорителе тяжелых ионов ДЦ-60 (Нур-Султан, Казахстан). Дозы облучения составили  $1 \times 10^{13}$ ,  $5 \times 10^{13}$ ,  $1 \times 10^{14}$  ион/см<sup>2</sup>. Облучение проводилось в вакууме при комнатной температуре. Образцы размещались на водоохлаждаемых мишенях с целью недопущения перегрева образцов и частичного отжига дефектов в результате нагрева.

Определение микротвердости поверхности керамик и ее изменений в результате дозовых нагрузок было проведено с использованием стандартного метода определения твердости методом Виккерса с использованием микротвердомера.

### **Результаты и обсуждение**

На рисунке 1 представлены результаты изменения величины твердости приповерхностного слоя, подвергнутого облучению и изменение размеров отпечатка индентера, которые характеризуют устойчивость к трещинообразованию.

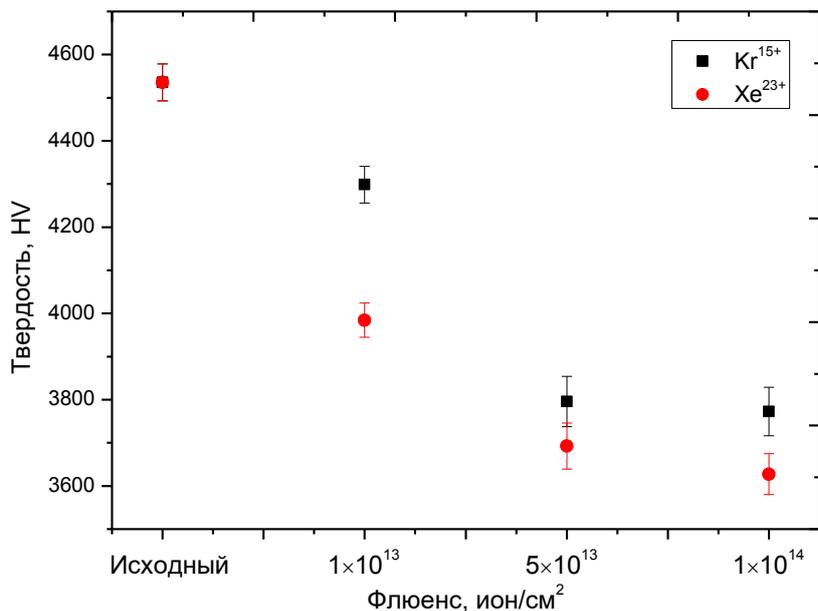


Рисунок 1- Динамика изменения твердости поверхности керамики в зависимости от типа облучения

Как видно из представленных данных, изменение величины твердости носит двухэтапный характер. Первый этап характеризуется резким снижением показателей твердости, что связано с изменением дефектной структуры поврежденного слоя, а также инициализацией процессов фазовых превращений. На втором этапе увеличение дозы облучения с  $5 \times 10^{13}$  до  $1 \times 10^{14}$  ион/см<sup>2</sup> приводит к незначительным изменениям показателей твердости, что связано с увеличением плотности дислокаций, которые препятствуют распространению трещин.

На основании топографических изменений поверхности керамики до и после облучения, был проведен анализ степени распухания керамики в результате облучения, данные которого представлены на рисунке 2. Полученные зависимости изменения степени распухания наглядно иллюстрируют изменение морфологии поверхности, связанной с ее деградацией в результате облучения.

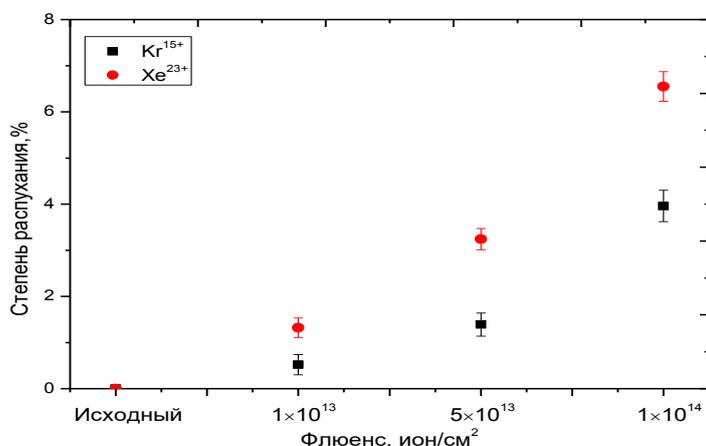


Рисунок 2 - График зависимости распухания поверхностного слоя керамики в результате облучения

Частичная деградация поверхности за счет распухания, а также деформационные процессы, возникшие в результате полиморфных превращений и изменения концентрации точечных дефектов, оказывают негативное влияние на прочностные характеристики керамик.

#### **Заключение**

В заключении можно сделать вывод о том, что проведенные исследования устойчивости  $ZrO_2$  керамик к облучению тяжелыми ионами позволили оценить механизмы изменения механических и прочностных свойств, а также частичного распухания приповерхностного слоя в керамиках под действием облучения.

#### **Список использованных источников**

1. Gentils, A., et al. Damage production in cubic zirconia irradiated with swift heavy ions.// Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2004. – Vol. 218. – P. 457-460.
2. Van Vuuren, A. Janse, et al. The effect of He and swift heavy ions on nanocrystalline zirconium nitride.// Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2014. – Vol. 326. – P.19-22.
3. Costantini, Jean-Marc, et al. Thermal annealing study of swift heavy-ion irradiated zirconia. // Journal of applied physics. – 2006. – Vol. 99.12. – P.123501.
4. Shukla, P. P., and Jonathan Lawrence. Characterization and compositional study of a  $ZrO_2$  engineering ceramic irradiated with a fibre laser beam. // Optics & Laser Technology. – 2011. – Vol. 43.7. – P. 1292-1300.
5. Liu, Junliang, et al. In-situ TEM study of irradiation-induced damage mechanisms in monoclinic- $ZrO_2$ . // Acta Materialia. – 2020. – Vol. 199. – P. 429-442.