

**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ**

**«Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ**

**Студенттер мен жас ғалымдардың  
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»  
XIX Халықаралық ғылыми конференциясының  
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ  
XIX Международной научной конференции  
студентов и молодых ученых  
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»**

**PROCEEDINGS  
of the XIX International Scientific Conference  
for students and young scholars  
«GYLYM JÁNE BILIM - 2024»**

**2024  
Астана**

**УДК 001**

**ББК 72**

**G99**

**«ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024» студенттер мен жас ғалымдардың XIX Халықаралық ғылыми конференциясы = XIX Международная научная конференция студентов и молодых ученых «ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024» = The XIX International Scientific Conference for students and young scholars «ǴYLYM JÁNE BILIM – 2024». – Астана: – 7478 б. - қазақша, орысша, ағылшынша.**

**ISBN 978-601-7697-07-5**

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

**УДК 001**

**ББК 72**

**G99**

**ISBN 978-601-7697-07-5**

**©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия  
ұлттық университеті, 2024**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОПИРОВАНИЯ ОКСИДОМ ИТТРИЯ $\text{CeO}_2$ КЕРАМИК НА ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К НАКОПЛЕНИЮ РАДИАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ

**Рспаев Руслан Муратович**

[ruslan.rspayev@pmi.com](mailto:ruslan.rspayev@pmi.com)

докторант кафедры ядерной физики, новых материалов и технологий ЕНУ им. Л.Н.

Гумилева, Астана, Казахстан

научный сотрудник ТОО "Kazakhstan Advanced Science Research Center", Алматы, Казахстан

Научный руководитель – PhD Козловский А.Л.

В современном мире в связи с ежегодным увеличением энергопотребления, а также снижением количества ископаемых энергоресурсов все больше внимание уделяется поиску альтернативных источников энергии. Это также связано с необходимостью снижения зависимости экономического и энергетического сектора стран от углеродородной зависимости, а также снижения потребления ископаемых энергоресурсов, запасы которых в большинстве крупных месторождений практически на исходе (срок добычи при нынешних потребностях в ряде случаев оценивается на 50 – 100 лет). В этой связи большие ставки в энергетическом секторе делаются на альтернативные источники энергии, среди которых можно выделить ядерную, термоядерную и водородную энергетику. Если в случае водородной и термоядерной энергетики в большинстве случаев предлагаемых технологических решений будет реализовано в ближайшие 10 – 20 лет, то ядерная энергетика является неотъемлемой частью энергетического сектора большинства развитых и развивающихся стран [1-3]. Переход на дисперсное ядерное топливо, в основе которого лежит технология размещения делящегося ядерного материала внутри инертных матриц, являющихся поглотителями осколков деления, а также основными материалами теплоотвода, позволит увеличить коэффициент полезного действия (КПД) при длительной эксплуатации ядерного топлива, а также увеличить степень выгорания делящегося материала за счет увеличения времени, а также температуры активной зоны, что является одним из сдерживающих факторов на сегодняшний день для традиционных материалов ТВЭЛов на основе сталей и сплавов.

Как известно, диоксид церия ( $\text{CeO}_2$ ) часто используется в керамических материалах благодаря его отличным свойствам, таким как высокая химическая стабильность, высокая плотность и теплопроводность [4,5]. В контексте ядерной энергетики, эти свойства делают его потенциально подходящим для использования в качестве инертной матрицы дисперсного ядерного топлива, которое состоит из мелких частиц ядерного материала (например, оксида урана или плутония), диспергированных в инертной матрице. Это способствует увеличению безопасности ядерного топлива, поскольку матрица помогает предотвращать диффузию радиоактивных продуктов и тепловыделение в окружающую среду. Керамические инертные матрицы на основе диоксида церия в этом случае могут быть особенно полезны, поскольку они обладают высокой стойкостью к радиационному повреждению и химической коррозии, что делает их привлекательными для использования в условиях экстремального радиационного воздействия в ядерных реакторах, в том числе и облучению тяжелыми ионами сравнимыми с осколками деления [4,5].

Цель данного исследования заключается в изучении влияния допирования  $\text{CeO}_2$  керамик стабилизирующей добавкой  $\text{Y}_2\text{O}_3$  на увеличение устойчивости к деструктивному деформационному искажению кристаллической решетки и повышение устойчивости прочностных характеристик при высокодозном облучении.

Облучение образцов  $\text{CeO}_2$  керамик, стабилизированных  $\text{Y}_2\text{O}_3$  было проведено ионами  $\text{Xe}^{22+}$  с флюенсами от  $10^{10}$  до  $10^{14}$  ион/см<sup>2</sup> при температурах 500, 700 и 1000 К. Выбор условий облучения был обусловлен возможностями моделирования условий максимально

приближенных к реальным условиям эксплуатации керамик в активной зоне ядерного реактора.

На рисунке 1 представлены результаты изменения величин твердости керамик в случае облучения тяжелыми ионами  $\text{Xe}^{22+}$  при изменении флюенса облучения, а также варьировании температуры облучения. Данные представлены в виде зависимости твердости от величины атомных смещений (сна), отражающей степень накопления радиационно-индуцированных повреждений в приповерхностном слое. Данные измерений твердости были выполнены в виде серийных измерений (не менее 10 измерений на образец) охватывающих всю поверхность керамик в различных местах, с целью определения однородности прочностных изменений. На основе полученных значений были определены погрешности измерений и величины стандартных отклонений.

Общий вид представленных зависимостей изменения значений твердости образцов керамик в зависимости от вариации условий облучения свидетельствует о существенном влиянии изменений температуры облучения на снижение твердости образцов, в особенности при высокодозном облучении (в случае величин смещений более 0.01 сна). При малых флюенсах облучения изменение твердости практически не наблюдается для температур облучения 500 К и 700 К, и более выражено при температурах 1000 К, что свидетельствует о более высокой скорости деградации керамик при повышенных температурах.

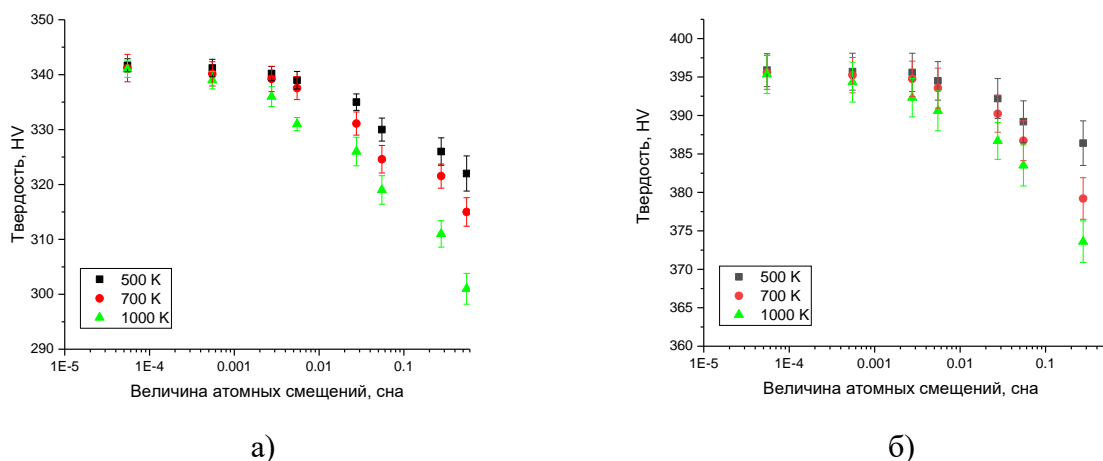


Рисунок 1. Результаты изменения прочностных характеристик при вариации условий облучения (температуры и флюенса): а)  $\text{CeO}_2$  керамики; б)  $0.85 \text{ M CeO}_2 - 0.15 \text{ M Y}_2\text{O}_3$  керамики

Также следует отметить, что в случае керамик с добавлением стабилизирующей добавки изменения твердости менее выражены, что свидетельствует о положительном влиянии стабилизатора на увеличение устойчивости к разупрочнению. Однако, также следует отметить, то что в случае  $0.85 \text{ M CeO}_2 - 0.15 \text{ M Y}_2\text{O}_3$  керамик, увеличение температуры облучения с 500 К до 700 К оказывает более выраженное влияние на изменение твердости чем в случае недопированных  $\text{CeO}_2$  керамик. Такое различие может быть объяснено тепловыми эффектами, связанными с изменением структурных характеристик керамик, а также изменением в подвижности точечных и вакансионных дефектов в структуре поврежденного слоя при изменении условий облучения. В свою очередь, отсутствие значимых изменений твердости при флюенсах облучения  $10^{10} - 10^{12}$  ион/см<sup>2</sup> свидетельствует о том, что на разупрочнение оказывает наибольшее влияние накопительный эффект структурных искажений, который проявляется в случае формирования перекрывающихся дефектных областей в структуре поврежденного слоя (как правило подобные эффекты наблюдаются при флюенсах выше  $10^{12}$  ион/см<sup>2</sup>). Изменения твердости, наблюдаемые при флюенсах выше  $10^{12}$

ион/см<sup>2</sup> обусловлены эффектами накопления структурных искажений и деформационных напряжений, возникающих в структуре поврежденного слоя за счет формирования точечных и вакансионных дефектов, увеличение плотности которых приводит к деформационному набуханию кристаллической решетки, и как следствие деформации всего поврежденного слоя путем возникновения дополнительных растягивающих остаточных механических напряжений. Также следует отметить то, что при одних и тех же значениях флюенса и энергии налетающих ионов (и как следствие одинаковых значениях величин ионизационных потерь ионов при взаимодействии с кристаллической структурой) изменение температуры облучения приводит к увеличению снижения твердости, что свидетельствует о влиянии температурных эффектов на разупрочнение и ухудшение прочностных свойств поврежденного слоя керамик. В этом случае объяснение эффекта разупрочнения может быть объяснено тепловыми эффектами, связанными с изменением амплитуды колебания атомов в кристаллической решетке при нагреве, а также увеличением их подвижности, что при внешних деформационных воздействиях приводит к большим структурным изменениям, а также искажениям кристаллической решетки. Подобные эффекты могут быть проявлены более выражено при достижении эффектов перекрытия структурно-измененных дефектных областей, увеличение концентрации которых приводит к ускоренной деструкции поврежденного слоя.

Основные результаты заключаются в определении влияния условий облучения (изменения флюенса и температуры облучения) на изменение прочностных характеристик керамик, согласно которым было установлено, что добавление в состав CeO<sub>2</sub> керамики 0.15 М Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> приводит к увеличению устойчивости к разупрочнению при высокотемпературном облучении, которое обусловлено снижением коэффициента объемного теплового расширения в 0.85 М CeO<sub>2</sub> – 0.15 М Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> керамиках, и как следствие уменьшению влияния тепловых эффектов на структурное разупорядочение при высоких температурах облучения, которые наиболее проявлены в случае облучения керамик при температурах 1000 К.

#### **Список использованных источников**

1. Vauchy R. et al. Liquid phase sintering of alumina–silica co-doped cerium dioxide CeO<sub>2</sub> ceramics //Ceramics International. 2023. Vol. 49, №. 2. P. 3058-3065.
2. Harrison R. W. et al. Development and comparison of field assisted sintering techniques to densify CeO<sub>2</sub> ceramics //Journal of the European Ceramic Society. 2022. Vol. 42, №. 14. P. 6599-6607.
3. Bakhtierkhalzi M. et al. Effect of TiO<sub>2</sub> as sintering additive on microstructural, physical, and mechanical properties of CeO<sub>2</sub> doped zirconia toughened alumina ceramic composite //Ceramics International. 2023. Vol. 49, №. 4. P. 6666-6670.
4. Zhang Y. et al. Role of electronic energy loss on defect production and interface stability: comparison between ceramic materials and high-entropy alloys //Current Opinion in Solid State and Materials Science. 2022. Vol. 26, №. 4. P. 101001.
5. Su Z. et al. Recent Progress on Interfaces in Nanomaterials for Nuclear Radiation Resistance //ChemNanoMat. 2023. Vol. 9, №. 2. P. e202200477.