

**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**

**«GYLYM JÁNE BILIM – 2024» студенттер мен жас ғалымдардың XIX Халықаралық ғылыми конференциясы = XIX Международная научная конференция студентов и молодых ученых «GYLYM JÁNE BILIM – 2024» = The XIX International Scientific Conference for students and young scholars «GYLYM 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**

35	38
50	34
70	26
100	27

### **Заключение**

Электронные линейные ускорители, в частности ЭЛУ-4, представляют собой важный инструмент в современных научных и технических исследованиях. На основе рассмотренных данных и результатов исследований можно сделать вывод о многостороннем и широком применении ЭЛУ-4 в различных областях.

Первым и наиболее очевидным направлением использования является изучение эффектов электронного облучения на материалы. Этот процесс находит свое применение в исследованиях полупроводников, композитов для космических приложений, а также в оценке воздействия радиации на материалы радиационной защиты. ЭЛУ-4 предоставляет идеальные условия для проведения этих экспериментов, что позволяет углубленно изучать реакцию материалов на различные уровни облучения.

В данной работе после облучения нанопорошков меди на ЭЛУ-4 размеры кристаллитов уменьшаются с 55 нм до 26 нм (доза облучения 70 кГр). При этом уменьшение размеров и доза облучения пропорциональны до определенной дозы, после которой размер кристаллитов выходит на стабильное плато и не изменяется.

### **Список использованных источников**

1. Фрай Д. У., Уолкиншоу У. Линейные ускорители //Успехи физических наук. – 1950. – Т. 42. – №. 11. – С. 362-408.
2. Беспалов В. И. и др. Лабораторное моделирование на ускорителях вариаций спектральной плотности и потока электронов радиационных поясов Земли //Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 1998. – №. 1. – С. 31-39.
3. Богатырев Ю. В. и др. Экраны локальной радиационной защиты изделий электронной техники на основе композитов вольфрам-медь //27-я Международная Крымская конференция " СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии"(КрыМиКо'2017). – 2017. – С. 1247-1259.
4. Качанов Н. Н. Рентгеноструктурный анализ (поликристаллов): практическое руководство. – Гос. научно – техн. изд – во машиностроит. лит – ры, 1960.

УДК 54.548.4

## **ИЗУЧЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ $ZrO_2$ КЕРАМИК В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ МЕХАНОХИМИЧЕСКОГО ПЕРЕМАЛЫВАНИЯ**

**Унгарбаев Ерулан Онласбекович**

[ye1.7ung@gmail.com](mailto:ye1.7ung@gmail.com)

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

Гумилева, Астана, Казахстан

Научный руководитель – к.ф.-м.н., профессор Здоровец М.В.

В настоящее время  $ZrO_2$  керамики являются одним из наиболее перспективных потенциальных материалов, имеющих широкий спектр применения в различных областях. Интерес к данному типу материалов обусловлен в первую очередь совокупностью их

структурных, прочностных, теплофизических и диэлектрических свойств, а также разнообразием методов получения керамик, в том числе и наноструктурных, интерес к которым наиболее проявлен в последнее десятилетие [1,2]. Использование  $ZrO_2$  керамик в качестве материалов для ядерной энергетики обусловлено высокими показателями прочностных характеристик (твердость  $\sim 10 - 20$  ГПа, прочность на изгиб  $\sim 1200$  МПа), устойчивостью к тепловому расширению (коэффициент линейного теплового расширения  $\sim 10^{-6} K^{-1}$ ), химической стабильностью к агрессивным средам, кислотам и коррозии. Также в случае высокотемпературного нагрева  $ZrO_2$  керамики обладают проводимостью, что делает их пригодными для использования в качестве нагревательных элементов или твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ) [3,4]. При этом переход от микроструктурных размеров зерен  $ZrO_2$  к наноразмерным зернам способствует увеличению температуры плавления с  $1650 - 1850$  °С до  $2700$  °С, связанному с возможностью самоорганизации наноструктурных частиц в более крупные кластеры, обладающие повышенными прочностными характеристиками [5-7]. При этом в последнее время, большое внимание уделяется использованию не массивных керамик, а наноструктурных (состоящих из наноразмерных зерен) композитных керамик, использование которых позволяет расширить возможности керамических материалов не только в энергетическом секторе, но и многих других. В свою очередь вопросы, связанные с переходом к наноразмерным типам керамик являются одними из наиболее важных не только с практической точки зрения, связанной с расширением спектра применимости керамик, но и фундаментальной, открывающей новые знания о взаимосвязях размерных эффектов и физико-химических, прочностных или теплофизических параметров.

В качестве исходных образцов  $ZrO_2$  керамик использовались порошки с размером зерен порядка  $1.5 - 3$  мкм с моноклинным типом кристаллической решетки. Данные порошки были приобретены у компании Sigma Aldrich (Sigma, США), химическая чистота образцов в исходном состоянии составила 99.95 %.

Вариация размеров зерен  $ZrO_2$  керамик была осуществлена путем механохимического перемалывания (метод мокрого помола) в планетарной мельнице PULVERISETTE 7 premium line (Fritsch, Берлин, Германия) путем изменения скорости перемалывания от 300 до 900 оборот/мин. Для этого образцы порошков  $ZrO_2$  смешивались вместе с этиловым спиртом и помещались в мелющий стакан EASY GTM на 45 м (материал диоксид циркония), в котором в качестве мелющих тел использовались шары диаметров 1.6 мм. При перемалывании проводился контроль за изменением температуры и давления в мелющем стакане, что позволило оценить механизмы, протекающие при перемалывании, а также оценить возможность термического разогрева образцов при дроблении на больших скоростях. Время помола составляло порядка 1 часа, после чего образцы извлекались из стакана и подвергались термическому отжигу в муфельной печи Nabertherm LE 4/11/R6 (Nabertherm, Лилиенталь, Германия) при температуре  $1500$  °С в течение 5 часов, скорость нагрева составляла  $20$  °С/мин, остывание образцов было выполнено вместе с печью в течение 24 часов после истечения срока отжига. Выбор условий и температуры отжига обусловлен необходимостью инициализации процессов термической релаксации механически – индуцированных деформационных искажений, возникающих в процессе дробления зерен при перемалывании. При этом температура отжига подбиралась экспериментально с целью достижения максимального эффекта термической релаксации дефектов, при этом не допуская эффектов увеличения роста зерен при их спекании.

Определение размеров зерен полученных  $ZrO_2$  керамик при их механохимическом перемалывании и последующем термическом отжиге (использующемся для релаксации механических деформационных искажений) было осуществлено с применением метода оптической лазерной дифракции, реализованной на анализаторе частиц ANALYSETTE 22 NeXT Nano (Fritsch, Берлин, Германия). Для этого образцы керамик были диспергированы в деионизованной воде под действием ультразвука с целью получения стабильной суспензии. Измерения проводились в двух диапазонах зеленого ( $0.1 - 45$  мкм) и красного ( $45 - 2100$  мкм) лазеров, количество проходов измерений составляло не менее 3 для каждого образца.

Результаты были представлены в виде диаграмм распределения размеров частиц в зависимости от их весового вклада, а также определенных средних значений.

Как известно, использование метода механохимического перемалывания (метод твердофазного синтеза) позволяет инициировать процессы структурных изменений и фазовых превращений, в результате механического воздействия на образцы и последующему деформационному искажению, способному привести к формированию новых фаз по типу внедрения или замещения (в случае если используются многокомпонентные состава керамик) или же инициировать полиморфные трансформации (изменение политипа кристаллической структуры). При этом варьирование условий перемалывания, включая время перемалывания или скорость, можно контролировать процессы синтеза, а также определять кинетику наблюдаемых изменений в результате механического воздействия (сильная деформация структуры). В случае  $ZrO_2$  керамик обладающих довольно высокими прочностными параметрами (твердость порядка 8 – 11 ГПа) и температурой фазовых трансформаций в пределах 1800 – 2500 °С (в зависимости от условий термического воздействия, а также различных стабилизирующих добавок), использование метода механохимического твердофазного перемалывание обусловлено возможностями механического дробления зерен, без инициализации процессов фазовых трансформаций, а также аморфизации (сильного структурного разупорядочения), характерной для менее твердых типов керамик.

На рисунках 1 – 2 представлены результаты морфологических особенностей  $ZrO_2$  керамик после механохимического перемалывания и термического отжига. Морфологические особенности были изучены с применением метода растровой электронной микроскопии, снимки были выполнены при одинаковом увеличении и масштабе для проведения сравнительного анализа изменений размеров и формы зерен, обусловленных внешними воздействиями (механохимическим перемалыванием и последующим термическим отжигом).

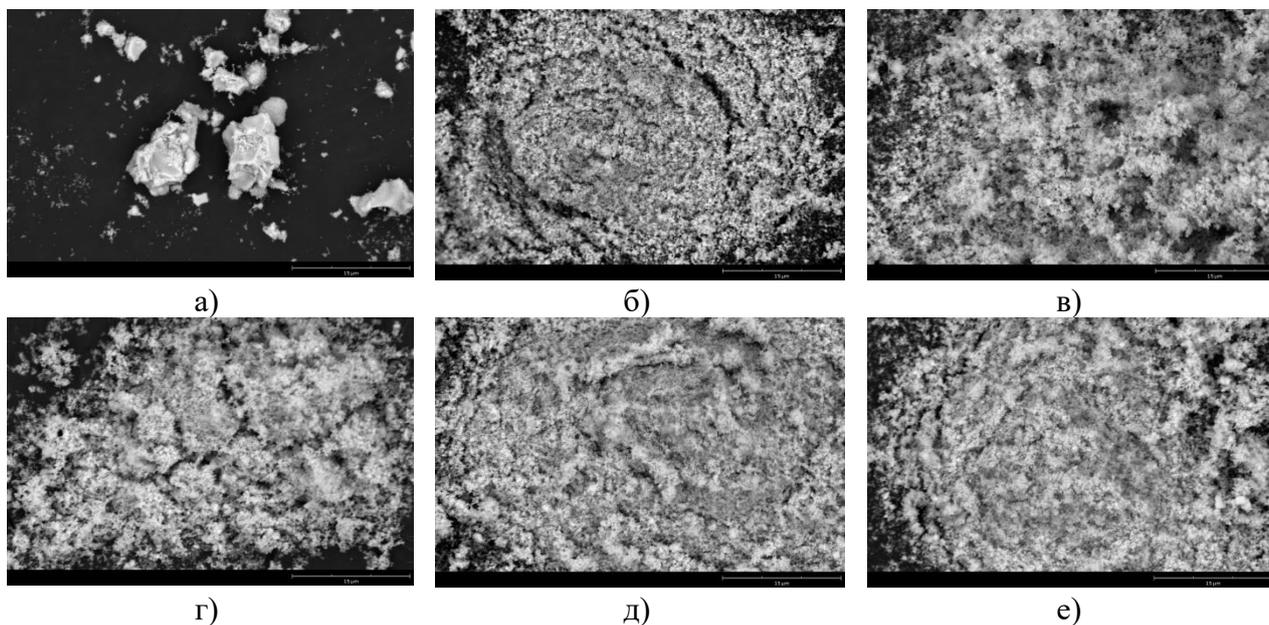


Рисунок 1. Результаты РЭМ изображений  $ZrO_2$  керамик после механохимического перемалывания: а) исходный; б) перемалывание при скорости 300 оборот/мин; в) перемалывание при скорости 400 оборот/мин; г) перемалывание при скорости 500 оборот/мин; д) перемалывание при скорости 700 оборот/мин; е) перемалывание при скорости 900 оборот/мин

В случае исходных образцов  $ZrO_2$  керамик (неподвергнутых механохимическому перемалыванию) образцы представляют собой крупноразмерные частицы (1.5 – 3 мкм), что имеет хорошее согласие с паспортными данными. При этом наличие более мелких частиц (доля которых существенно меньше) обуславливает достаточно низкую сцепляемость

крупных зерен между собой, обусловленную химическими процессами получения данных частиц. В случае перемалывания, согласно данным представленных на электронных микрофотографиях (см. Рисунки 1б – е), наблюдается дробление крупных зерен до наноразмерных частиц, имеющих неправильную ромбовидную или перьеобразную форму. При этом увеличение скорости помола приводит к более мелким зернам, что характеризует тот факт, что более интенсивное механическое воздействие мелющих тел приводит к ускорению дробления зерен и более интенсивному их размалыванию. При этом в случае скоростей помола 700 – 900 оборот/мин наблюдается образование более мелких агломератов, представляющих собой объединение нескольких зерен в более крупные частицы. Такое формирование агломератов обусловлено эффектами, связанными со свойствами  $ZrO_2$  порошков при переходе к наноразмерным масштабам.

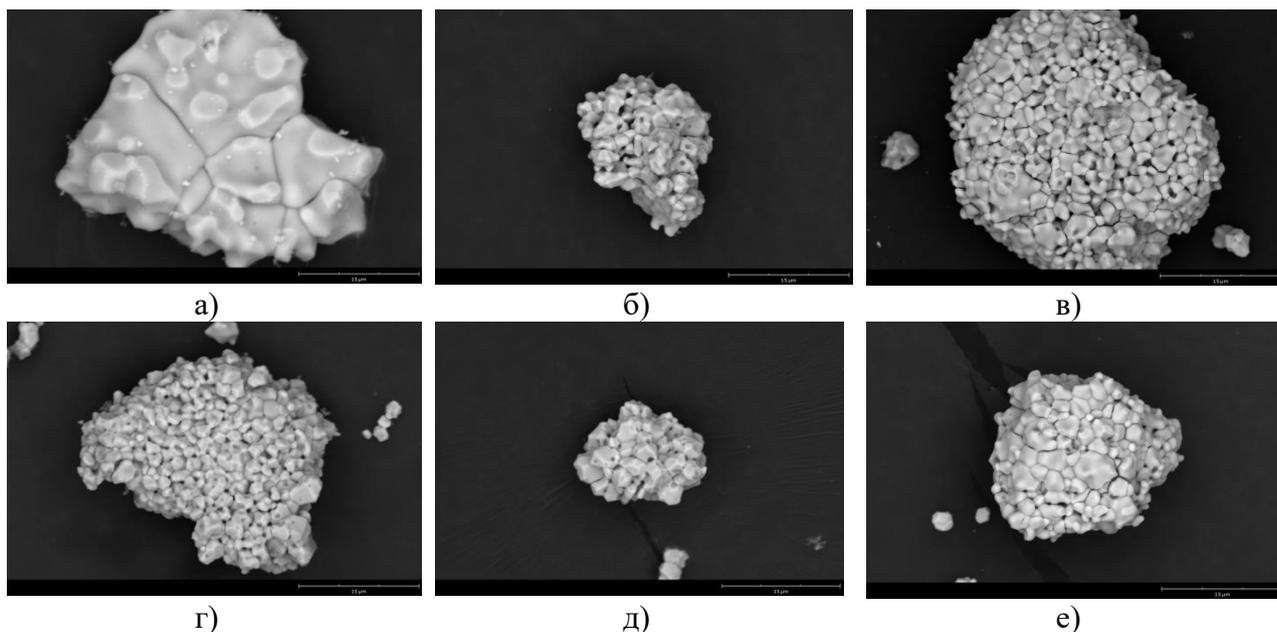


Рисунок 3. Результаты РЭМ изображений  $ZrO_2$  керамик после механохимического перемалывания и термического отжига при температуре 1500 °С: а) исходный; б) перемалывание при скорости 300 оборот/мин; в) перемалывание при скорости 400 оборот/мин; г) перемалывание при скорости 500 оборот/мин; д) перемалывание при скорости 700 оборот/мин; е) перемалывание при скорости 900 оборот/мин

Представленные на рисунке 2 результаты изменения морфологических особенностей  $ZrO_2$  керамик после термического спекания свидетельствуют об агломерации зерен в более крупные объединения, в виде достаточно плотных агломератов, состоящих из достаточно мелких зерен (размер которых составляет порядка 200 – 400 нм в зависимости от скорости перемалывания), имеющих хорошую корреляцию с размерами зерен керамик после механохимического перемалывания. При этом в случае исходных керамик, подвергнутых термическому отжигу наблюдается незначительное укрупнение зерен, связанное с их спеканием в более крупные агломераты и уплотнением.

#### Список использованных источников

1. Chitoria A. K., Mir A., Shah M. A. A review of  $ZrO_2$  nanoparticles applications and recent advancements //Ceramics International. 2023. Vol. 49 (20). P.32343-32358.
2. Ji Y. et al. Zirconia bioceramics as all-ceramics crowns material: A review //Rev. Adv. Mater. Sci. 2013. Vol. 34, №. 2. P. 72-78.
3. Ahn K. et al. Enhanced thermal stability of SOFC anodes made with  $CeO_2$ - $ZrO_2$  solutions //Electrochemical and Solid-State Letters. 2005. Vol. 8, №. 8. P. A414-A418.

4. Wang Y. et al. Ultra-high energy storage density of transparent capacitors based on linear dielectric ZrO<sub>2</sub> thin films with the thickness scaled up to hundreds nanometers //Applied Physics Letters. 2022. Vol. 120. №. 2. P.1-10.
5. Fabris S., Paxton A. T., Finnis M. W. A stabilization mechanism of zirconia based on oxygen vacancies only //Acta Materialia. 2002. Vol. 50, №. 20. P. 5171-5178.
6. Zhang J. et al. Oxygen vacancy-rich mesoporous ZrO<sub>2</sub> with remarkably enhanced visible-light photocatalytic performance //Solar Energy Materials and Solar Cells. 2018. Vol. 182. P. 113-120.
7. Qunbo F. et al. Study of ZrO<sub>2</sub> phase structure and electronic properties //Molecular Simulation. 2008. Vol. 34, №. 10-15. P. 1099-1103.

УДК 539

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТА AL-MG, ПОЛУЧЕННОГО ПОСЛЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ**

**Пухачева Юлия Александровна**

[coldday87@gmail.com](mailto:coldday87@gmail.com)

Студент 1 курса магистратуры Физико-технического института УУНиТ, Уфа, Россия

д.ф.-м.н., проф., Баймова Ю.А.

Физико-технического факультета ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Абуова Ф.У.

В настоящее время актуальные направления исследований связаны с разработкой новых материалов, обладающих улучшенными механическими характеристиками. Одним из таких направлений являются композиты на основе алюминия (Al), в частности Al-Mg, Al-Ti, Al-Cu и Al-Nb. Подобные композиты можно получить при кручении под квазигидростатическим давлением [1, 2]. В данной работе исследован композит алюминий (Al) - магний (Mg), обладающий большим потенциалом будущего применения. Исследование перемешивания атомов в границе между слоями Al и Mg проводится методом молекулярной динамики (МД). В качестве деформационной обработки выбран следующий способ деформации: одноосное сжатие, перпендикулярное границе перемешивания атомов, в комбинации с деформацией сдвига в плоскости границы [3]. Преимущество метода МД заключается в моделировании эволюции систем по времени. Стоит отметить, что метод МД позволяет с большей точностью и вероятностью определить координаты атомов, энергию, температуру и другие параметры системы. Также проведено исследование механических свойств посредством одноосного растяжения. В работе проводится моделирование в программе LAMMPS с использованием специально разработанного для подобных структур потенциалом EAM [5], который хорошо согласуется с экспериментальными данными.

На рисунке 1 показана схема выбранной начальной структуры, которая представляет собой кубический образец размером  $L_x = L_y = L_z \approx 100 \text{ \AA}$ , содержащий 54 170 атомов с параметрами решетки  $a_{Mg} = 3,203 \text{ \AA}$ ,  $c_{Mg} = 5,2 \text{ \AA}$ ,  $a_{Al} = 4,05 \text{ \AA}$ . Периодические граничные условия применяются во всех направлениях. Постоянство температуры (300 К) в системе обеспечивает термостат Носе-Хувера.