

УДК 539.216.2:620.198

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ Li_2ZrO_3 КЕРАМИК,
ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ТВЕРДОФАЗНОГО СИНТЕЗА**

Абышев Бауыржан

baurzhan.abyshev@gmail.com

Докторант 3-го курса специальности "Ядерная физика" ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан,
Казахстан

Научный руководитель – Жумадилов К.Ш.

Одним из критериев отбора для литийсодержащих керамик является выбор компоненты оксида, который играет немаловажную роль в определении структурных характеристик керамик. В частности, одним из альтернативных материалов классическим литийсодержащим керамиком типа Li_4SiO_4 , являются керамики на основе цирконата лития (Li_2ZrO_3), которые обладают высокими показателями механической прочности, устойчивостью к коррозии и радиационным повреждениям, а также высокой совместимостью с различными материалами, что открывает перспективы их применения в качестве материалов бланкетов [1-3]. Как известно, основным фактором, влияющим на скорость высвобождения трития в результате ядерных реакций является микроструктура керамик, которая зависит не только от выбора типа керамик, но и условий их получения.

Наиболее распространенным методом получения Li_2ZrO_3 керамик является метод термического сплавления карбоната лития (Li_2CO_3) и двуокиси циркония (ZrO_2) при высоких температурах (более 700°C), при этом в ряде работ указано, что данный метод сопровождается получением керамик содержащих аморфные включения, а также примеси в виде не растворившегося ZrO_2 или переходных фаз типа $\text{Li}_6\text{Zr}_2\text{O}_7$ [4-6]. При этом если наличие примесной фазы ZrO_2 , как правило, обусловлено избытком исходных порошков используемых для синтеза, то формирование фазы $\text{Li}_6\text{Zr}_2\text{O}_7$ может быть связано с возникновением неоднородностей в составе, приводящим к локальным вариациям стехиометрии [7-10].

Экспериментальная часть

В качестве исходных реактивов для синтеза были выбраны порошки $\text{LiClO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и ZrO_2 приобретенные у компании Sigma Aldrich (Saint Louis, Missouri, USA), размеры порошков составляли не более 1 μm , химическая чистота 99.95 %.

Синтез керамик проводился с применением метода механохимического синтеза, совмещенного с термическим отжигом полученных перетертых смесей при температуре отжига 1500°C . Синтез проводился путем варьирования содержания компонент $x\text{LiClO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ и $(1-x)\text{ZrO}_2$ где $x=0.1-0.5$ с целью определения влияния изменений концентрации компонент на структурные параметры и фазовый состав исследуемых керамик. Перемалывание образцов после навески проводилось в планетарной мельнице PULVERISETTE 6 (Fritsch, Germany) при следующих условиях: скорость помола 400 оборот/мин, время помола 1 час. Термический отжиг проводился в муфельной печи при температуре 1500°C в течение одного часа, скорость нагрева составляла $10^\circ\text{C}/\text{мин}$, время остывания 24 часа.

Изучение прочностных свойств проводилось с использованием двух методик. Определение твердости, проводилось с использованием метода индентирования, который был реализован с помощью микротвердомера LECO LM 700 (LECO Corporation, USA). В качестве индентера использовалась пирамидка Виккерса, при нагрузке на индентер 10 Н.

Результаты и обсуждение

Одними из перспективных типов керамик, представляющих интерес в области производства трития, являются керамики типа Li_2ZrO_3 , которые в отличие от большинства классических литийсодержащих керамик обладают высокими показателями совместимости с другими типами керамик, однако, в силу своей кристаллической структуры, являются достаточно

нестабильны к деформационным воздействиям. Также Li_2ZrO_3 керамики характеризуются отсутствием вероятности возникновения процессов изотопного обмена, что приводит к снижению абсорбции водорода на поверхности и внутри зерен. Результатом этого является то, что весь образованный тритий в ходе протекания ядерных реакций будет абсорбироваться на поверхности керамики, при этом без примесей водорода, что исключает процедуры разделения трития и водорода в последствие.

При этом основные проблемы, ограничивающие применения Li_2ZrO_3 в качестве бридерных материалов, связаны с наличием анизотропного изменения теплофизических параметров керамик, а также вероятностью образования микротрещин и сколов при длительной эксплуатации. Данные дефекты, как правило, связаны с наличием примесных или метастабильных фаз в структуре керамик, обусловленных процессами получения. Устранение данных недостатков позволит применять данные керамики с большей эффективностью выгорания трития, чем при эксплуатации Li_4SiO_4 керамик, а также расширить спектр применения материалов.

Результаты твердости керамик представлены на рисунке 1, полученные методом индентирования.

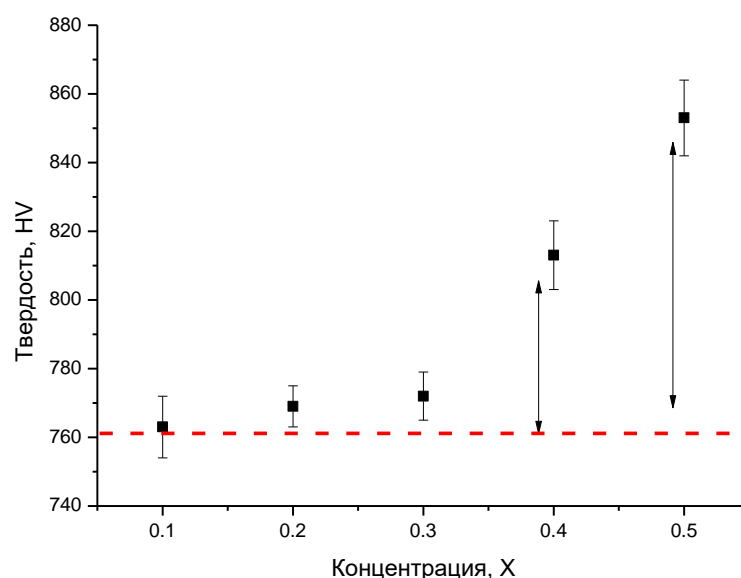


Рисунок 1 - Результаты упрочнения керамик в зависимости от концентрации компонента X

Как видно из представленных данных изменений показателя твердости поверхностного слоя керамик увеличение дислокационной плотности приводит к увеличению устойчивости к механическим воздействиям. При этом в случае концентраций компонента $X = 0.4 - 0.5$, соотношение дислокационной плотности к упрочнению составляет 3:1. Эффект упрочнения обусловлен созданием дополнительных препятствий распространению микротрещин за счет большой плотности дислокаций, что приводит к увеличению устойчивости к механическим воздействиям. Также немаловажную роль в упрочнении играет снижение пористости керамик и увеличение плотности, которое обуславливает снижение концентрации разупорядоченных структурных включений, что в свою очередь приводит к упрочнению керамик.

Заключение

В ходе работы установлено, что изменение содержания исходных компонент для синтеза не приводит к формированию новых фазовых включений, однако, увеличение компонента X приводит к изменению размеров кристаллитов и дислокационной плотности, что обуславливает упрочнение керамик к внешним механическим воздействиям.

Список литературы

- 1 Zdorovets M. V., Kozlovskiy A.L., Abyshev B., Yencepbayev T.A., Uzbekgaliyev R.U., Shlimas D.I. Study of Phase Formation Processes in Li₂ZrO₃ Ceramics Obtained by Mechanochemical Synthesis //Crystals. – 2021. – Т. 12. – №. 1. – С. 21.
- 2 Abyshev B., Shlimas D.I., Zdorovets M.V, Arshamov Y.K., Kozlovskiy A.L. Study of Radiation Resistance to Helium Swelling of Li₂ZrO₃/LiO and Li₂ZrO₃ Ceramics. // Crystals. - 2022. — Vol. 12. — P. 384.
- 3 Abyshev B., Kozlovskiy A.L., Zhumadilov K.S., Trukhanov A.V. Study of Radiation Embitterment and Degradation Processes of Li₂ZrO₃ Ceramic under Irradiation with Swift Heavy Ions //Ceramics. – 2021. – Vol. 5, №. 1. – P. 13-23.
- 4 Boutard J. L. et al. Fissile core and Tritium-Breeding Blanket: structural materials and their requirements //Comptes Rendus Physique. – 2008. – Vol. 9, №. 3-4. – P. 287-302.
- 5 Rao G. J. et al. Fabrication of Li₄SiO₄-Li₂ZrO₃ composite pebbles using extrusion and spherodization technique with improved crush load and moisture stability //Journal of Nuclear Materials. – 2019. – Vol. 514. – P. 321-333.
- 6 Lee Y. L. et al. Density functional theory study of the point defect energetics in γ -LiAlO₂, Li₂ZrO₃ and Li₂TiO₃ materials //Journal of Nuclear Materials. – 2018. – Vol. 511. – P. 375-389.
- 7 Baba A., Nishikawa M., Eguchi T. Isotope exchange reaction on Li₂ZrO₃ //Journal of nuclear materials. – 1997. – Vol. 250, №. 1. – P. 29-35.
- 8 Lyu X. W. et al. Analysis of tritium production in a 2 MW liquid-fueled molten salt experimental reactor and its environmental impact //Nuclear Science and Techniques. – 2016.–Vol. 27,№. 4. – P. 1-7.
- 9 Tanabe T. (ed.). Tritium: Fuel of fusion reactors. – Tokyo : Springer Japan, 2017. – P. 1-30.
- 10 Barabash V. et al. Materials challenges for ITER–Current status and future activities //Journal of Nuclear Materials. – 2007. – Vol. 367. – P. 21-32.

ӘӨЖ 533.72

КИЛЬВАТЕРЛЫҚ ҮДЕТУДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

Азаматов Асылхан Азаматұлы

aaa180896@gmail.ru

Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ магистранты, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
Ғылыми жетекшісі – Сахиев С.

Бөлшектердің үдеткіштері қазіргі ғылымда маңызды рөл атқарады және жоғары энергия физикасының негізгі құралдарының бірі болып табылады. Атап айтқанда, жеделдетілген электрондар лептондық коллайдерлерде, сондай-ақ жету қиын рентген және гамма диапазонында электромагниттік сәуле шығару үшін қолданылады. Дәстүрлі электронды үдеткіштер радиожилік резонаторлардағы электр өрісін пайдалануға негізделген [1,2]. Олардағы жеделдету өрісінің амплитудасы көп факторлы разрядтың дамуымен шектеледі және әдетте бірнеше ондаған МВ/м мәндеріне жетеді [3]. Осыған байланысты электрондарды бірнеше ГэВ ретгі энергияға жеделдетуге мүмкіндік беретін қондырғылар айтарлықтай өлшемдерге жетуі мүмкін. Мысалы, қазіргі рекордтық 10 000 ГэВ электронды энергияға қол жеткізу үшін диаметрі 27 км сақиналық үдеткіш LEP (Үлкен электрон – позитронды коллайдер) қолданылды [4]. Сақиналық үдеткіштердегі үдеу ұзындығы бойынша шектеудің жоқтығына қарамастан, энергияның өсуі электрондардың қисық сызықты траектория бойынша қозғалған кездегі синхротрондық сәулеленуінен болатын шығындармен шектеледі. Сызықтық үдеткіштердің мұндай кемшілігі жоқ, оның ең жарқын өкілі Стэнфордтағы SLAC кешеніндегі (Stanford Linear Accelerator Center) сызықтық үдеткіш болып табылады, ол электрондарды 50 ГэВ энергияға дейін үдеу ұзындығы бойынша жеделдетуге мүмкіндік береді. 3,2 км [5,6]. Жеделдетілген бөлшектердің қол жетімді энергиясын одан әрі арттыру үшін қондырғылардың өлшемдерін пропорционалды ұлғайту қажет. Мысалы, International Linear Collider (ILC) жобасында шамамен