

Список литературы

1. Bourret G. R., Lennox R. B. // *Nanoscale*, 2011.– №3.– P.1838–1844.
2. Yang W., Zhang L., Hu Y., Zhong Y., Wu H. B., Lou X. W. // *Angew. Chem., Int. Ed.*, 2012.– №51.– P.11501–11504.
3. Zhang H., Chen M., Wang D. M., Xu L., Liu X. D. // *Opt. Mater. Express*, 2016.– №6.– P.2573–2583.
4. Садовников С. И., Ремпель А. А., Гусев А. И. // *Письма в ЖЭТФ*, 2017.– Т.106.– №9.– С.569–574.
5. Сильниченко В.Г. // *Ученые записки*, 1959.– №84.– С.124–127.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ ОКСИДНЫХ СИСТЕМ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ж.А. Кенешова, И.В. Амеличкин, В.О. Марченко
 Научный руководитель – к.б.н. А.С. Сачкова

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет
 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, keneshovajanara@gmail.com*

Высокоэнтропийные оксидные системы (ВЭОС) – это системы, содержащие более трех элементов в равной атомной доле, имеющие простые кристаллические структуры с равномерным распределением ионов в кристалле, для которых характерны повышенные значения энтропии смешения [1]. Высокая энтропия смешения обеспечивает повышенную термическую стабильность фазового состава и структурного состояния, следовательно, свойств системы – механических, физических и химических [2].

Особенностью высокоэнтропийных оксидных систем является то, что ни один из составных бинарных оксидов не обладает твердой растворимостью друг в друге [3]. Таким образом, они способны образовывать однофазный твердый продукт. Следовательно, основной идеей ВЭО является стабилизация одной фазы в системе, которая состоит из пяти или более катионов в эквиатомном количестве.

Идея ВЭОС может быть распространена как на оксиды с переходными металлами, так и на оксиды РЗМ.

В течение нескольких десятилетий оксиды редкоземельных металлов были известны своими интересными оптическими, электронными и химическими свойствами. ВЭОС-РЗЭ могут существенно влиять на каждую из этих областей, благодаря кумулятивному эффекту нескольких катионов РЗЭ.

Данная работа посвящена синтезу и исследованию свойств высокоэнтропийной оксидной системы РЗЭ, ряда (Sm, Ce, Gd, Sc, X)O, где X – La, Y, Er, Ho, Yb, Nd. Дальнейшее описание результатов анализов приведем на примере (Sm, Ce, Gd, Sc, Yb)O.

ВЭОС редкоземельных элементов получали золь-гель методом. Нитраты РЗЭ, взятые в эквимолярном соотношении (1, осаждали в виде гидроксидов с использованием NaOH. Полученный осадок промывали дистиллированной водой до pH=7, затем отфильтровали, сушили и отжигали в течение 1 часа при температуре 800 °С, на выходе получили готовый продукт (Sm, Ce, Gd, Sc, Yb)O, который измельчили до 0,01 мм. Все используемые реагенты были марки (чда).

Порошки ВЭОС редкоземельных элементов были отправлены на РФА в Томский Региональный центр коллективного пользования. Рентгенофазовый анализ показал, что система (Sm, Ce, Gd, Sc, Yb)O имеет кубическую сингонию идентичную кристаллической решетке Sm₂O₃.

С помощью спектрометра ИКС-31 были сняты спектры диффузного отражения порошков в диапазоне от 400 нм до 1600 нм. Максимальное значение отражения для системы (Sm, Ce, Gd, Sc, Yb)O составило 84% при длине волны равной 700 нм, минимальное значение – 42,6% при λ=1450 нм.

Таким образом, в работе показано, что система (Sm, Ce, Gd, Sc, Yb)O является высокоэнтропийным оксидом, который имеет кубическую структуру и является диэлектриком.

В дальнейшем исследовательская работа будет направлена на усовершенствование методики получения высокоэнтропийных оксидных систем редкоземельных элементов, и установление закономерностей влияния различных факторов (размер атомов, электроотрицательность, энтальпия смешения, электронная концентрация и т.д.) на свойства получаемых ВЭОС.

Список литературы

1. Djenadic R., Sarkar A., Clemens O., Loho C. et al. // *Material Research Letters*, 2016.– Vol.5.– №2.– P.102–109.
2. Christina M., Sachet E., Borman T., Diskey E.C. et al. // *Nature Communication*, 2015.– P.1–8.
3. Anand G., Wynn Alex P., Handley Christopher M. et al. // *Acta Materialia*, 2018.– Vol.146.– P.119–125.

ОБРАЗОВАНИЕ ОКСИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МИКРОТВЭЛ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.В. Кнышев, С.В. Беденко, В.В. Шагалов, А.В. Малин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, vvk28@tpu.ru

Микротвэл ядерного реактора представляет собой топливную микросферу из делящегося материала, в качестве которого применяется керамические соединения, с защитными покрытиями. Основным преимуществом данного топливного элемента в отличие от стандартного однородного металлического или керамического ядерного топлива является их повышенная радиационная стойкость при длительной эксплуатации, обусловленная локализацией продуктов деления.

В работе [1] рассматривается топливный элемент высокотемпературной ториевой реакторной установки, с микротвэл диаметром 600 мкм, представляющий собой сферический топливный керн, покрытый последовательными слоями низкоплотного пироуглерода и титанакремнистогокарбида, диспергированный в графитовую матрицу цилиндрической топливной таблетки.

По результатам исследования [2], определено оптимальное содержание микротвэл в топливной таблетке, которое составляет 17%. При таком содержании, кампания топлива составляет более 7 лет работы без подпитки и перегрузки активной зоны, а выгорание Pu^{239} достигает 92%.

Столь длительная работа и высокое значение выгорания топливного элемента повышает нагрузку на покрытия микротвэл, что в результате может привести к образованию дефектов и утечки продуктов деления [3–4]. Основными факторами влияния на образование дефектов и увеличение нагрузки являются: нейтронное излучение; повышение температуры микротвэл при накоплении продуктов деления; рост внутреннего давления при увеличении концентрации газообразных продуктов деления и оксидных соединений [3].

В данной работе рассмотрено образование оксидных соединений при длительной эксплуатации. Особое внимание сконцентрировано на образовании газообразных оксидных соединений в частности на оксиде и диоксиде углерода и создаваемое им давление.

При оценке образования оксидных соединений рассматривались следующие механизмы:

1. Взаимная диффузия на границе разделения топливного керна и пироуглерода.
2. Образование оксидных соединений с продуктами деления и пироуглеродом в процессе деления.

Расчет показал, что при эксплуатации топлива при оптимальном содержании микротвэл, количество атомов кислорода, высвобождаемого, при делении $(\text{Th,Pu})\text{O}_2$ [1–2], в одном микротвэл составляет $\sim 3,6 \cdot 10^{17}$. Из них всего 7,4% взаимодействует с пироуглеродом с образованием оксидов углерода.

Процессами поверхностного взаимодействия материалов топливного керна и пиролиитического углерода можно пренебречь, из-за маловероятного процесса окисления углерода при взаимодействии с ThO_2 и малым образованием при взаимодействии с PuO_2 , по сравнению с взаимодействием пироуглерода с высвобожденным кислородом при делении.

Расчетное парциальное давление оксидов углерода составило ~ 40 МПа, при условии равномерного распределения в пористом буферном слое пиролиитического углерода при температуре в микротвэл 1500 К.

В дальнейшем планируется уточнение полученных данных при условии длительной ионизации, проведения расчета создаваемого напряжения, в покрытие из титанакремнистогокарбида, газообразными продуктами деления и оксидами углерода.