

растворы делящихся (уран, торий) и матричных (магний, иттрий) металлов. Определены составы растворов ВОНР и режимы их переработки, обеспечивающие в воздушно-плазменном потоке получение наноструктурных оксидных композиций «диоксид урана – диоксид тория – оксид магния».

Полученные результаты могут быть использованы при создании энергоэффективной технологии плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций для уран-ториевого дисперсионного ядерного топлива для высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов для производства водорода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.
2. Шаманин И.В., Каренгин А.Г., Каренгин А.А., Новоселов И.Ю. Плазмохимический синтез и исследование наноразмерных оксидных композиций, имитирующих уран-ториевое дисперсионное ядерное топливо // Атомная энергия. – 2021. – Т. 131. – №. 1. – С. 46-49.

### ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУРНЫХ ОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ УРАНОВОГО ТОЛЕРАНТНОГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

С.Ю. Кузнецов, А.А. Каренгин, Д.М. Беляков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: sergey\_kuz\_0908@mail.ru

Основу атомной энергетики в России в XXI веке еще будут составлять АЭС с реакторами на тепловых нейтронах, использующих керамическое ядерное топливо из диоксида урана, обогащенного по изотопу уран-235, у которого наряду с достоинствами есть и серьезный недостаток – низкая теплопроводность [1].

В аварийных ситуациях без охлаждения это приведет к повышению температуры топлива, развитию пароциркониевой реакции циркониевых оболочек тепловыделяющих элементов и их разрушению. Решением этой проблемы является создание устойчивого к аварийным ситуациям толерантного ядерного топлива (Accident Tolerant Fuel) [2].

Представляет интерес использование уранового ATF-топлива в виде диоксида урана, равномерно распределенного в оксидной матрице с высокой теплопроводностью и низким поперечным сечением поглощения нейтронов. Плазмохимический синтез топливных оксидных композиций (ТОК) в воздушно-плазменном потоке из диспергированных водно-органических нитратных растворов (ВОНР), включающих органический компонент (спирты, кетоны), имеет, в отличие от применяемых методов (раздельное получение и механическое смешение, золь-гель и др.), следующие преимущества: одностадийность, высокая скорость, гомогенное распределение фаз с заданным стехиометрическим составом, возможность активно влиять на размер и морфологию частиц, низкие энергозатраты [2].

В работе представлены результаты исследований процесса плазмохимического синтеза ТОК из диспергированных растворов ВОНР, включающих ацетон и смешанные водные нитратные растворы неодима (вместо урана) и магния.

В ходе исследований проводились лазерная дифракция водных суспензий ТОК, сканирующая электронная микроскопия, БЭТ-анализ и рентгенофазовый анализ полученных порошков.

Установлено, что при расходе воды на «закалку» (2,8 кг/с) и частоте диспергатора (35 Гц) увеличение содержания матрицы в виде оксида магния 5, 10, 15, 20, 30 и 50 % в составе ТОК «Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MgO» приводит: соответственно к образованию частиц ТОК в водных суспензиях размером 13,0; 9,4; 7,3; 6,8; 5,1 и 4,7 мкм. При этом удельная поверхность полученных порошков составляет 19,5; 18,0; 17,1; 15,2; 14,6 и 11,2 м<sup>2</sup>/г а размер «зерен» в

частицах ТОК – 39; 42; 45; 53; 56; 73 и 123 нм., что подтверждает плазмохимический синтез наноразмерных ТОК из диспергированных растворов ВОНР.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Зайцев В.А., Толстоухов С.С. Дисперсионное ядерное топливо. – М.: Техносфера, 2015. – 248 с.
2. Шаманин И.В., Каренгин А.Г., Каренгин А.А., Новоселов И.Ю. Плазмохимический синтез и исследование наноразмерных оксидных композиций, имитирующих уран-ториевое дисперсионное ядерное топливо // Атомная энергия. – 2021. – Т. 131. – №. 1. – С. 46-49.

#### ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ НЕЙТРОННО-ТРАНСМУТАЦИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА.

Н.К. Романова, К.С. Киселёв

Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения институт ядерной физики  
министерства энергетики Республики Казахстан  
Республика Казахстан, г. Алматы ул. Ибрагимова, д.2, 050032

E-mail: [romanova@inp.kz](mailto:romanova@inp.kz)

Бурное развитие электронной промышленности и «зеленых» технологий повышает спрос на полупроводники с устойчивыми электрофизическими характеристиками. А одним из эффективных методов легирования полупроводников является нейтронно-трансмутационное легирование. Экономическая выгода легирования возрастает с увеличением диаметра слитка кремния. Исходя из этого, на реакторе ВВР-К планируется облучать слитки монокристаллического кремния диаметром более 220 мм [1]. Из-за наличия градиента плотности потока нейтронов по высоте и диаметру активной зоны необходимо разработать облучательное устройство, формирующее равномерное нейтронное поле. Условия облучений [2] будут смоделированы на критическом стенде и проведены исследования разработанного устройства, которое позволит снизить неравномерность поля нейтронов в облучательной позиции реактора ВВР-К.

В настоящей работе приведены результаты численного моделирования облучательной позиции в реакторе ВВР-К без и с облучательным устройством. Моделирование проведено с помощью программного комплекса MCU-REA и библиотеки ядерно-физических данных DLC/MCUDAT -2.1 [3,4].

*Работа выполнена в рамках научно-технической программы министерства энергетики Республики Казахстан № BR09158958.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романова Н.К., Гизатулин Ш.Х., Мартюшов А.Л., Накипов Д.А., Чакров П.В., Takemoto N., Kimura N., Saito T., Tsuchiya K. Исследование возможности трансмутационного легирования кремния на реакторе ВВР-К. // Материалы 11-ой Международной конференции «Взаимодействие излучений с твёрдым телом» (IRS-2015). – г. Минск Республика Беларусь, 2015. – С.147-148. Режим доступа: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/120129>
2. Романова Н. К., Айткулов М. Т. Гизатулин Ш. Х., Дюсамбаев Д. С., Мартюшов А. Л., Накипов Д. А., Сайранбаев Д. С., Шаймерденов А. А. Оценка условий облучения слитков кремния в реакторе ВВР-К. // Использование рассеяния нейтронов в исследовании конденсированных сред: Тр. Междунар. конференции РНИКС-2021. – г. Екатеринбург, 2021. – Режим доступа: <http://rniks2021.imp.uran.ru/sites/default/files/RNIKS-book.pdf>. – С.195-196.
3. Гуревич М.И., Шкаровский Д.А. Расчет переноса нейтронов методом Монте-Карло по программе MCU. Учебное пособие. – М.: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2012. – 154 с.
4. Абагян Л.П., Алексеев Н.И., Брызгалов В. И., Гомин Е.А., Калугин М.А., Майоров Л.В. и др. Программа MCU-REA с библиотекой констант DLC/MCUDAT-2.1. // Вопросы атомной науки и техники. - Серия: Физика ядерных реакторов: научно-технический сборник. – 2001. - Т.3 – С.55-62.