

4. Мао Лин, Ли Чжэнбо, Чжан Давэй, Чэнь Цзяпинь Мобильная система позиционирования микророботов на основе инфракрасного датчика. Датчики и микросистемы, 2014. – № 33 (12).
5. Вэй Я, Ду Юнь Интеллектуальная машина на базе однокристалльного дистанционного управления ультразвуковым дальномером // Информационные технологии. 2014. – №11.
6. Чжу Цзе, Хэ Линсяо, Линь Фаньцян, Гоу Цяосинь Метод наименьших квадратов используется для размещения инфракрасной дальномерной системы по секциям. Электронные устройства, 2014. – №37 (3).
7. Ван Хуэйцзюань, Юань Цюаньбо и др. Разработка системы инфракрасной локации для мобильного робота на базе ARM.// Журнал Северо-Китайского института аэрокосмической техники, 2010. – №20 (2).
8. Хэ Хунцзян, Чэн Линь. Конструкция ультразвукового дальномера на основе протоколов STM32 и MODBUS. Контрольно-измерительная техника и датчики, 2014. – №11.
9. Ван Лин, Цзоу Сяоюй, Лю Сяо, Чэнь Бинлинь, Чжу Хунчао, Чжу Жунцзе. Исследование технологии инфракрасной дальнометрии хлопкоуборочного робота // Журнал сельскохозяйственной техники, 2014. – 45 (7).
10. Ли Луфэн На основе конструкции ультразвуковой системы управления дальностью AT89C51. Автоматизация производства, 2012. – № 34 (2).

Ли Шухуэй (Китай)  
Пайгин В.Д.(Россия)

Томский политехнический университет г.Томск

Научный руководитель: Хасанов Олег Леонидович  
д.т.н., профессор

## **ВЛИЯНИЕ ФТОРИДА ЛИТИЯ НА СПЕКАНИЕ YSZ-КЕРАМИКИ**

### **Введение**

Керамика на основе иттрий-стабилизированного диоксида циркония (YSZ) обладает высокими механическими и функциональными свойствами. Она прозрачна для электромагнитного излучения в широком диапазоне длин волн и обладает аномально высоким показателем преломления (около 2,2). В связи с этим YSZ-керамика представляется

перспективной для применения в оптоэлектронике, для производства новых источников света и в квантовой оптике [1].

Фторид лития (LiF) – широко распространенный оптический материал. Он чувствителен к ионизирующему излучению и тепловым нагрузкам [3]. LiF является легкоплавким материалом, что обуславливает его широкое применение в качестве спекающей добавки [4, 5].

В настоящей работе изучено влияние фторида лития на процессы электроимпульсного плазменного спекания YSZ-керамики.

#### **Экспериментальная часть**

Для изготовления образцов был использован коммерческий нанопорошок иттрий-стабилизированного диоксида циркония TZ-10YS (TOSOH, Япония), доля стабилизатора (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) в котором составляет 10 мол. % и порошок фторида лития (СХК, Россия). Мокрое смешивание порошковых компонентов проводили в шаровой мельнице в течение 48 часов. Содержание LiF в смесях составляло 0,1 – 1 мас. %. Консолидацию керамики проводили на установке SPS-515S (SPS SYNTEX INC., Япония) при температуре 1300 °С, давление подпрессовки порошка в графитовой пресс-форме составляло 100 МПа, скорость нагрева составляла 8°С/мин. Продолжительность изотермической выдержки составляла 20 минут. Изменение линейных размеров керамического материала в процессе спекания регистрировалось встроенными средствами технологического оборудования.

В результате электроимпульсного плазменного спекания были получены прозрачные керамические образцы цилиндрической формы диаметром 14 мм, высотой ~ 1,5 мм. Плотность образцов была определена измерением массы и линейных размеров, выраженная в процентах от теоретического значения, в качестве которого была принята плотность монокристалла (5,95 г/см<sup>3</sup> [5]) ZrO<sub>2</sub> стабилизированного 10 мол.% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

#### **Результаты и их обсуждение**

Динамика линейной усадки образцов YSZ-керамики с добавками LiF в процессе SPS-спекания при температуре 1300 °С под давлением подпрессовки 100 МПа представлена на рисунке 1.

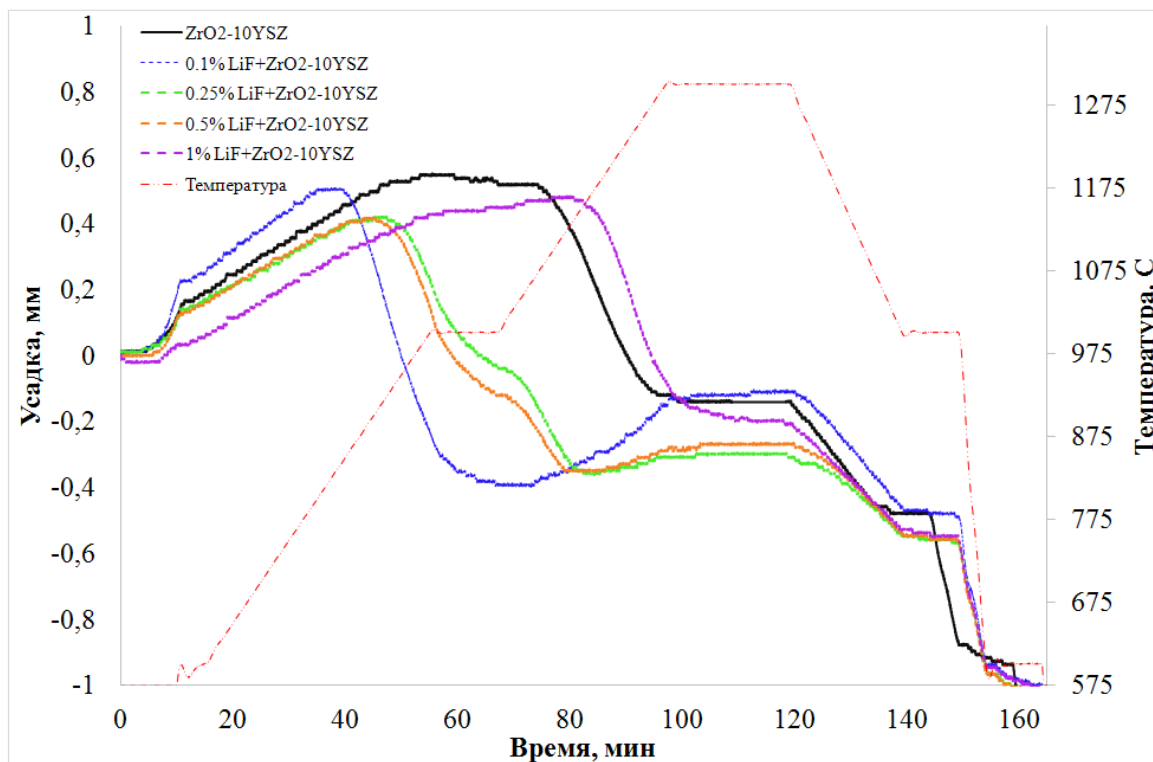


Рисунок 1. Изменение линейных размеров образцов YSZ-керамики в процессе SPS при температуре 1300 °C и давлении 100 МПа

Видно, что термическая усадка иттрий-стабилизированного диоксида циркония без добавки фторида лития начинается в диапазоне температур от 975 до 1075 °C, где происходит компенсация процессов термического расширения материала, процессами консолидации. После температуры 1075 °C процессы спекания преобладают над процессами термического расширения вплоть до температуры 1300 °C и сопровождаются понижением пористости, ростом и консолидацией зёрен.

Интенсивная усадка материала наблюдается в диапазоне температур от 1075 до 1271 °C. Добавление фторида лития в количестве от 0,1 до 0,5 мас. % приводит к смещению диапазона температур интенсивной усадки материала в область меньших температур (таблица 1). Добавление фторида лития в количестве от 0,5 до 1 мас. % приводит к смещению диапазона температур интенсивной усадки в область больших температур.

Таблица 1

*Интервалы интенсивной усадки*

Название	Отн. Плотн. %	Характерные температуры	
		Температура начала интенсивной усадки, °С	Температура окончания интенсивной усадки, °С
YSZ	96,75	1075	1271
YSZ+0.1% LiF	95,46	847	1000
YSZ+0.25% LiF	94,93	916	1150 °С
YSZ+0.5% LiF	94,68	895	1120 °С
YSZ+1% LiF	94,05	1150	1285 °С

Зависимость плотности YSZ-керамики от содержания фторида лития представлена на рисунке 2. Плотность полученной керамики, относительно мала для оптического материала. Это связано с тем, что определение плотности проводили до механической шлифовки и полировки материала.

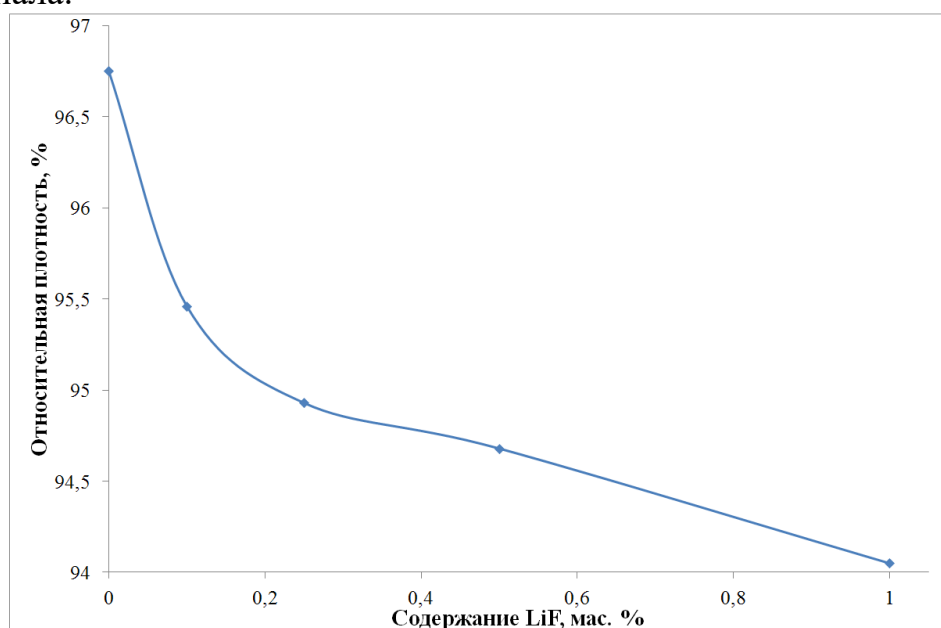


Рисунок 2. График плотности керамики от концентрации фторида лития

С увеличением концентрации от 0,1 до 1 мас. % фторида лития наблюдается понижение относительной плотности YSZ-керамики на 1,41 %.

### **Заключение**

В результате работы получена светопропускающая YSZ-керамика с добавками фторида лития. Изучено влияние фторида лития на процесс электроимпульсного плазменного спекания керамики.

Показано, что добавление фторида лития в количестве от 0,1 до 1 мас. % приводит к изменению диапазона температур интенсивной усадки материала и понижению относительной плотности на 1,41 %.

Для получения керамики с плотностью близкой к теоретической, требуется проведение дополнительных оптимизационных работ, учитывающих влияние фторида лития на процесс спекания YSZ-керамики.

Выполнено на оборудовании НОИЦ "НМНТ" Томского политехнического университета при поддержке Госздания «Наука» FSWW-2020-0014 (5.0017.ГЗБ.2020).

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Двилис Э.С., Хасанов О.Л., Пайгин В.Д., Толкачев О.С. Изготовление светопропускающей YSZ-керамики методами холодного статического одноосного и ультразвукового прессования с последующим свободным спеканием // *Фундаментальные исследования*. – 2017. – № 12-2. – С. 268-276;
2. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=42014> (дата обращения: 21.03.2021).
3. URL: <https://www.rstradepouse.com/item?id=100210133713> (дата обращения: 21.03.2021).
4. Моисеев С. С., Петров В. А., Степанов С. В. Оптические свойства высокопористой керамики из вторичного лития. // *Теплофизика высоких температур*. – 2008. – том 46. – № 2. – С. 268-276
5. C.-L. Tsai, M. Koczyk, R.J. Smith, V.H. Schmidt, Low temperature sintering of Ba(Zr<sub>0.8-x</sub>Ce<sub>x</sub>Y<sub>0.2</sub>)O<sub>3-δ</sub> using lithium fluoride additive // *Solid State Ionics*. -Volume 181, Issues 23–24. – 2010. – Pages 1083-1090. – ISSN 0167-2738,
6. Ingel R.P., Lewis D. Lattice Parameters and Density for Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Stabilized ZrO<sub>2</sub> // *J. Am. Ceram. Soc.* – 1986. – Vol. 69., №4. – P. 325-332.