Список литературы

1. Лакокрасочные покрытия специального назначения / Э.К. Кондрашов // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2014. – № 8. – С. 22–23.

2. Effect of R-TiO₂ and ZnO nanoparticles on the UV-shielding efficiency of water-borne acrylic coating / T.V. Nguyen, P.H. Dao, K.L. Duong, Q.H. Duong, Q.T. Vu, A.H. Nguyen, V.P. Mac, T.L. Le // Progress in Organic Coatings. -2017. - V. 110. - P. 114-121.

3. Optical properties and radiation stability of TiO_2 powders modified by Al_2O_3 , ZrO_2 , SiO_2 , TiO_2 , ZnO, and MgO nanoparticles / M.M. Mikhailov, V.A. Vlasov, S.A. Yuryev, V.V. Nesh-chimenko, V.V. Shcherbina // Dyes and Pigments. – 2015. – T. 123. – P. 72–77.

4. Reflective thermal control coating for spacecraft based on ZnO pigment and Li_2SiO_3 silicate modified by SiO_2 nanoparticles / M.M. Mikhailov, S.A. Yuryev, A.N. Lapin, V.A. Goronchko // Ceramics International. – 2023. – V. 49, I. 12. – P. 20817–20821.

5. On the applicability of imaging spectrometry for the detection and investigation of contaminated sites with particular consideration given to the detection of fuel hydrocarbon contaminants in soil / K.H. Winkelmann // - 2007.

6. Review of short-wave infrared spectroscopy and imaging methods for biological tissue characterization / R.H. Wilson, K.P. Nadeau, F.B. Jaworski, B.J. Tromberg, A.J. Durkin // Journal of Biomedical Optics. – 2015. – V. 20.

7. Defect related luminescence in silicon dioxide network: a review / R. Salh // Crystalline Silicon-Properties and Uses. – 2011. – V. 135. – P. 172.

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ФТОРИДА ЛИТИЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ АЛЮМОМАГНИЕВОЙ ШПИНЕЛИ

<u>Д.Е. ДЕУЛИНА</u>, Ф. ХУАН, И.Н. ШЕВЧЕНКО, В.Д. ПАЙГИН Национальный исследовательский Томский политехнический университет E-mail: ded5@tpu.ru

В настоящее время оптически прозрачные керамические материалы вызывают большой интерес исследователей. Они обладают уникальным сочетанием оптических и физико-механических свойств, являются перспективной заменой традиционным стеклам и монокристаллам [1]. Такая керамика может быть использована в оптическом приборостроении, авиационной промышленности, автомобилестроении [1-2].

К таким материалам относится алюмомагниевая шпинель (MgAl₂O₄). Оптически прозрачную керамику на основе MgAl₂O₄ изготавливают различными методами, включая горячее прессование и электроимпульсное плазменное спекание (ЭИПС). Последний позволяет минимизировать рост зёрен за счёт низкой продолжительности процесса [2-3].

Керамику на основе алюмомагниевой шпинели с высокими оптическими характеристиками получают методом ЭИПС с добавлением спекающих добавок, таких как оксид кальция, оксид бора, фторид лития и др. [1]. Фторид лития является наиболее распространенной спекающей добавкой. Температура плавления LiF составляет 840 °C. Введение LiF в керамика приводит к образованию жидкой фазы вокруг частиц порошка/зёрен шпинели. Таким образом, происходит спекание с участием жидкой фазы. При высоких температурах фторид лития испаряются из алюмомагниевой шпинели [4-5].

В данной работе проведено исследование влияние концентрации спекающей добавки LiF на процесс электроимпульсного плазменного спекания керамики на основе алюмомагниевой шпинели, а также на оптические свойства полученного материала.

В качестве матричного материала для изготовления прозрачной керамики был выбран коммерческий нанопорошок алюмомагниевой шпинели SC30R (Baikowski Malakoff Inc., США). В качестве спекающей добавки использовали коммерческий порошок LiF (Hawk Co. Ltd., Китай).

Подготовку порошковых смесей MgAl₂O₄ с LiF осуществляли путем смешивания компонентов в шаровой мельницы МЛШ-01 (Промстроймаш, Россия) по мокрому методу. Были подготовлены порошковые смеси с содержание LiF от 0,01 до 0,1 мас. %.

Изготовление образцов прозрачной керамики на основе MgAl₂O₄, осуществляли методом ЭИПС на установке SPS-515S (Syntex Inc., Япония) в графитовых пресс-формах. Спекание проводили при температуре 1300 °С под давлением 100 МПа. Изменение линейных размеров образцов в процессе ЭИПС регистрировали с помощью встроенных средств технологической установки SPS-515S.

Оптические свойства керамики были исследованы с использованием спектрофотометра СФ-56 (ОКБ Спектр, Россия).

На рисунке 1 представлена зависимость относительной усадки образцов от температуры в процессе ЭИПС.



Температура, °С

Рисунок 1. Динамика относительной усадки образцов MgAl₂O₄ с добавлением LiF в процессе ЭИПС

Из представленных зависимостей видно, что усадка всех образцов носит одностадийный характер, интенсивная усадка происходит на неизотермической стадии нагрева. В таблице 1 представлены диапазоны температур наиболее интенсивной усадки образцов, а также максимальные значения усадки исследуемых образцов.

Таблица 1 – Диапазон температур наиболее интенсивной усадки образцов и значения относительной усадки на момент изотермической выдержки в процессе ЭИПС

Содержание LiF,	Диапазоне температур интенсивной	Относительная усадка,	
мас.%	усадки, °С	%	
0	1050-1200	53	
0,01	1050-1200	50	
0,05	1050-1200	50	
0,1	930-1170	54	

Введение спекающей добавки LiF в количестве 0,1 0,05 мас. % приводит к смещению диапазона температур интенсивной усадки в сторону меньших температур на 120 °C. При введение спекающей добавки в количестве от 0,01 до 0,05 мас. % изменение диапазона температур интенсивной усадки не наблюдается. Введение спекающей добавки LiF в количестве 0,1 мас. % приводит к повышению относительной усадки на 1 %, а введение 0,01 и 0,05 мас. % LiF приводит к понижению относительной усадки на 3 % по сравнению с керамикой MgAl₂O₄ без добавок.

На рисунке 2 представлены спектры пропускания исследуемых образцов в диапазонах длин волн от 200 до 1100 нм (рисунок 2, а) и от 2500 до 7500 нм (рисунок 2, б).



Рисунок 2. Значения пропускания исследуемых образцова на длине волны: a) 200–1100 нм; б) 2500–7500 нм

В таблице 2 представлены значения пропускания образцов на длинах волн 400, 600, 1100, 2500, 5000, 7000 нм.

1		1 .		
LiF, мас.%	0	0,01	0,05	0,1
Длина волны, нм	Пропускание, %			
400	37	60	60	1
600	61	76	75	21
1100	76	85	84	56
2500	74	73	74	63
4500	75	73	75	76
7000	7	5	5	7

Таблица 2 – Значения пропускания образцов на длинах волн 400-7500 нм

Анализ спектров пропускания исследуемых образцов показал, что введение добавки LiF в количестве 0,01 и 0,05 мас. % позволяет улучшить оптические характеристики образцов алюмомагниевой шпинели в ультрафиолетовом и видимом диапазонах спектра (пропускание повышается на 14–15 % на длине волны 600 нм). Введение 0,1 мас. % LiF снижает пропускание исследуемых образцов в видимом и ультрафиолетовом спектрах. Наименьше пропускание демонстрирует образец с добавлением 0,1 мас. % LiF: 400 нм – 1 %, 600 нм – 21 %, 1100 нм – 56 %. Наибольшее пропускание демонстрирует образец с добавление демонстрирует образец с добавлением 0,1 мас. % LiF: 400 нм – 1 %, 600 нм – 21 %, 1100 нм – 56 %.

В инфракрасной области спектра наблюдается снижение пропускания образцов на основе алюмомагниевой шпинели при добавлении 0,1 мас. % на длинах волн от 2500 до 5500 нм. Пропускание образцов с добавлением 0,01 и 0,05 мас. % на длинах волн от 2500 до 5500 нм находится в пределах погрешности по сравнению с образцом $MgAl_2O_4$ без добавок. В диапазоне длин волн от 5500 до 7500 нм все образцы демонстрируют близкие значения пропускания. Образец с добавлением 0,1 мас. % LiF обладает наименьшим значением пропускания на 2500 нм (63 %) и наибольшим значением пропускания на длине волны 4500 нм (76 %).

Таким образом, изучено влияния фторида лития на процесс электроимпульсного плазменного спекания и оптические характеристики керамики на основе алюмомагниевой шпинели.

Установлено, что введение LiF в количестве от 0,01 до 1 мас. % к повышению относительной усадки при спекании и смещению диапазона температур интенсивной усадки.

Показано, что введение LiF в количестве 0,01 и 0,05 мас. % приводит к повышению пропускания в ультрафиолетовом и видимом диапазонах длин волн. В инфракрасном диапазоне длин волн пропускание сопоставимо с керамикой, изготовленной без LiF.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 23-73-01241 на оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ.

Список литературы

1. Ming W., Jiang Z., Luo G et al. Progress in Transparent Nano-Ceramics and Their Potential Applications // Nanomaterials. – 2022. – V. 12. – P. 1491.

2. Zou Y., He D., Wei X. et al. Nanosintering mechanism of MgAl2O4 transparent ceramics under high pressure // Materials Chemistry and Physics. – 2010. – V. 123. – P. 529-533.

3. Le Godec Y., Le Floch S. Recent Developments of High-Pressure Spark Plasma Sintering: An Overview of Current Applications, Challenges and Future Directions // Materials. – 2023. – V. 16. – P. 997.

4. Qin T., Zhong C., Shang Y. et al. Effects of LiF on crystal structure, cation distributions and microwave dielectric properties of $MgAl_2O_4$ // Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – V. 886. – P. 161278.

5. Reimanis I. E., Kleebe H. J. Reactions in the sintering of MgAl₂O₄ spinel doped with LiF // International journal of materials research. $-2007. - V. 98. - N_{\odot}. 12. - P. 1273-1278.$

ДВУХСЛОЙНЫЕ ЭЛЕКТРЕТНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ФОСФАТА КАЛЬЦИЯ И ОКСИНИТРИДА ТИТАНА: ЗАРЯД ПОВЕРХНОСТИ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

<u>Т. Д. ДЖАМБУЛОВА</u>¹, К.А. ПРОСОЛОВ², К. С. ПОПОВА², М.Е. КОНИЩЕВ¹, К.Е. ЕВДОКИМОВ¹,

Ю.П. ШАРКЕЕВ ^{1,2} ¹Томский политехнический университет ²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН E-mail: tdd2@tpu.ru

Биоматериалы широко используются в современной медицине для различных целей. Покрытия на основе оксинитридов титана (Ti-O-N) обладают антитромбогенными свойствами и высоким уровнем гемосовместимости [1]. Кроме того, данные покрытия обладают хорошей адгезионной прочностью, что делает их ценным материалом для медицины. Для усиления остеоинтеграции с костной тканью применяются покрытия из фосфатов кальция, в частности гидроксиапатита (ГА).

Важную роль во взаимодействии биоматериалов с биологическими системами играет их заряд поверхности. Электрически поляризованный ГА усиливает эффект роста костной ткани на покрытии, что является важным эффектом с точки зрения биомедицины [2]. По литературным данным [2], даже у аморфного фосфата кальция существует определенный потенциал поверхности, который индуцируется в процессе роста пленки в неравновесных условиях при ионной и электронной бомбардировке. Получение слоистых покрытий с заданным потенциалом поверхности очень актуально. В связи с вышеизложенным, целью данной работы стало создание новых композитных покрытий из слоев оксинитрида титана и фосфата кальция, исследование заряда поверхности покрытий и их физико-механических свойств.

В качестве подложек использовались образцы титана марки ВТ1-0 в форме пластин-размером 10×10×1 мм³. Для стандартизации поверхности образцов проводилась следующая подготовка. Шлифование образцов производилось с последовательным уменьшением зернистости шлифовальной бумаги (Р240, Р600, Р1200, Р1500 и Р2000), далее поверхность полировалась