

### Список литературы

1. Saikova S et al. // *Metals*, 2021. – Vol. 11. – № 5. – P. 705–723.
2. Majid F. // *Materials Chemistry and Physics*, 2021. – Vol. 258. – P. 1–28.
3. Nejati K. // *Chemistry Central Journal*, 2012. – № 23. – P. 1217–1221.
4. Iqbal B. // *Ceramics International*, 2021. – Vol. 47. – P. 12433–12441.

## ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ГИДРОКСИАПАТИТА

Б. С. Кудряшов<sup>1,2</sup>, А. Е. Резванова<sup>2</sup>, А. Н. Пономарев<sup>2</sup>, Д. Д. Скоробогатов<sup>2,3</sup>, Г. В. Белоус<sup>2,3</sup>  
Научный руководитель – к.т.н., доцент ОМ ТПУ Е. С. Мироява<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, bsk3@tpu.ru

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН  
634055, Россия, г. Томск, Академический пр., 2/4, ranast@ispms.ru, alex@ispms.ru

<sup>3</sup>Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, danilskor2000@mail.ru, peremichka256@gmail.com

Биоматериалы с фосфатом кальция, такие как гидроксиапатит (ГА), обладают превосходной биосовместимостью, биологической активностью и остеокондуктивностью с костной тканью. Это позволяет применять их при изготовлении костных имплантатов для ортопедической и стоматологической медицины [1]. Биокерамика на основе ГА может использоваться в медицине для покрытия металлических имплантатов, а также заполнения дефектов костей и пустот, при реконструкции костной ткани [2]. Однако слабые механические свойства ГА не позволяют использовать такую керамику в местах интеграции имплантата с высокими механическими нагрузками, поэтому при создании композитов медико-биологического назначения с целью улучшения их физико-механических, таких как твердость, прочность, пористость используются добавки многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) [3, 4]. Одним из важных критериев материалов является пористость, которая напрямую влияет на их свойства, а также может быть взаимосвязана с оптическими параметрами материалов, такими как показатель преломления и коэффициент поглощения. Для установления такой взаимосвязи может использоваться метод терагерцовой спектроскопии во временной области (ТГц). Метод ТГц [5–7] заключается в регистрации временной формы импульса терагерцового электрического поля после прохождения через материальную матрицу и его анализе с использованием быстрого преобразования Фурье. Терагерцовые волны

электромагнитного спектра могут проникать в непроводящие материалы, обеспечивая тем самым спектроскопические данные для новых биоматериалов, включая полимеры и керамические материалы.

В работе методом ТГц спектроскопии проводится изучение взаимосвязи между пористостью и оптическими параметрами двух серий керамических материалов на основе ГА с добавлением малого содержания МУНТ до 0,5 масс. %. Добавки МУНТ были использованы для изменения пористости керамики.

Первая серия была получена в результате спекания в атмосфере аргона, вторая серия – в вакууме. Пористость образцов варьировалась от 8 до 27,5 % для серии № 1 и от 18,7 до 27,7 % для серии № 2.

В результате проведенных исследований установлена корреляция между пористостью керамических образцов и их оптическими параметрами, такими как показатель преломления и коэффициент поглощения в частотном диапазоне от 0,2 до 1,5 ТГц. С увеличением пористости керамического материала показатель преломления уменьшается, в то время как коэффициент поглощения растёт. Полученные результаты могут быть использованы для исследований пористых структур больших объемов различных оптически прозрачных биоматериалов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема № FWRW-2022-0002.

### Список литературы

1. Fiume E., et al. // *Hydroxyapatite for biomedical applications: A short overview / Ceramics*, 2021. – V. 4. – № 4. – P. 542–563.
2. Barabashko M. S., et al. // *Variation of Vickers microhardness and compression strength of the bioceramics based on hydroxyapatite by adding the multi-walled carbon nanotubes // Applied Nanoscience*, 2020. – V. 10. – № 8. – P. 2601–2608.
3. White A. A., et al. // *Hydroxyapatite–carbon nanotube composites for biomedical applications: a review / International Journal of Applied Ceramic Technology*, 2007. – V. 4. – № 1. – P. 1–13.
4. Padovani G. C., et al. // *Advances in dental materials through nanotechnology: facts, perspectives and toxicological aspects / Trends in biotechnology*, 2015. – V. 33. – № 11. – P. 621–636.
5. Nikoghosyan A. S., et al. // *Optical properties of human jawbone and human bone substitute Cerabone® in the terahertz range / Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences)*, 2016. – V. 51. – № 3. – P. 256–264.
6. Bawuah P., et al. // *Terahertz-based porosity measurement of pharmaceutical tablets: A tutorial / Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 2020. – V. 41. – № 4. – P. 450–469.
7. Plazanet M., et al. // *Time-domain THz spectroscopy of the characteristics of hydroxyapatite provides a signature of heating in bone tissue / PLoS One*, 2018. – V. 13. – № 8. – P. 1–16.

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ

### СТЕКЛОКЕРАМИКИ $\text{Li}_{1,5+x}\text{Al}_{0,5}\text{Ge}_{1,5}\text{Si}_x\text{P}_{3-x}\text{O}_{12}$

Е. С. Кузнецова<sup>1,2</sup>, С. В. Першина<sup>2</sup>, С. Г. Власова<sup>1</sup>

Научный руководитель – к.х.н., н.с. С. В. Першина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина  
ул. Мира, 19

<sup>2</sup>Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН  
Россия, Екатеринбург, ул. Академическая, 20, leno4kakuznetsova2019@gmail.com

Исследования, направленные на разработку твердых электролитов, стабильных по отношению к электродным материалам и обладающих высокой литий-ионной проводимостью, являются перспективным направлением электрохимии в области создания полностью твердофазных аккумуляторов. Одним из перспективных твердых электролитов является  $\text{Li}_{1,5}\text{Al}_{0,5}\text{Ge}_{1,5}(\text{PO}_4)_3$  со структурой NASICON, а возможность изготовления его стеклокерамическим способом решает проблему высокого зернограничного сопротивления, характерного для керамических электролитов [1–2]. Дальнейшая модификация электрических свойств стеклокерамики  $\text{Li}_{1,5}\text{Al}_{0,5}\text{Ge}_{1,5}(\text{PO}_4)_3$  может быть связана с допированием по анионной подрешетке [3]. В работе [4] сообщается, что стеклокерамика состава  $\text{Li}_{1,5}\text{Al}_{0,5}\text{Ge}_{1,5}\text{P}_{2,9}\text{Si}_{0,1}\text{O}_{12}$  обладает более высокой проводимостью при комнатной температуре ( $2,45 \cdot 10^{-4}$  См/см) по сравнению с  $\text{Li}_{1,5}\text{Al}_{0,5}\text{Ge}_{1,5}\text{P}_{2,5}\text{Si}_{0,5}\text{O}_{12}$  ( $8,95 \cdot 10^{-6}$  См/см). Цель данной работы – выявить состав с наибольшей общей проводимостью в серии

$\text{Li}_{1,5+x}\text{Al}_{0,5}\text{Ge}_{1,5}\text{Si}_x\text{P}_{3-x}\text{O}_{12}$  и определить оптимальную температуру кристаллизации.

Были получены образцы  $\text{Li}_{1,5+x}\text{Al}_{0,5}\text{Ge}_{1,5}\text{Si}_x\text{P}_{3-x}\text{O}_{12}$  при варьировании  $x$  от 0 до 0,1 методом направленной кристаллизации монолитного стекла при различных температурах (700 и 750 °C) и постоянной скорости нагрева (3 °C/мин) и выдержки (2 ч). Фазовый состав образцов изучен методом рентгенофазового анализа (РФА) с помощью дифрактометра Rigaku D/MAX-2200VL/PC с использованием Cu-K $\alpha$  излучения в интервале углов  $10 \leq 2\theta \leq 90$ . Изменение электропроводности стеклокерамики проводилось с помощью импедансной спектроскопии на потенциостате-гальваностате Elins P-5X от комнатной температуры до 140 °C и частотном диапазоне 1 МГц – 25 Гц. В качестве электродов была выбрана Ga-Ag паста, которую предварительно нагревали до 80 °C и затем наносили на поверхность образцов методом намазывания.

Согласно данным РФА, все полученные образцы были однофазными с гексагональной структурой ( $R-3c$ ). По спектрам импеданса