**Прозрачный ситалл на основе системы ZnO-MgO-Al2O3-SiO2, упрочняемый ионообменной обработкой**

***Веселов И.А., Шахгильдян Г.Ю., Савинков В.И., Сигаев В.Н.***

*Аспирант, 1 год обучения*

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,   
кафедра химической технологии стекла и ситаллов, Москва, Россия*

*E-mail:* [*ivan.veselov.115@gmail.com*](mailto:ivan.veselov.115@gmail.com)

Прозрачные материалы находят широкое применение в различных отраслях промышленности, начиная от массового строительства и заканчивая оптикой, используемой в лазерных системах. Традиционно для этих целей используются стекла. Однако в случаях, когда требуется сочетание нескольких функциональных свойств, возрастает интерес к ситаллам — материалам, объединяющим преимущества стеклообразной и кристаллической фаз. Особое внимание привлекают прозрачные ситаллы, которые превосходят обычные стекла по механической прочности.

Для улучшения эксплуатационных свойств стекол прибегают к закалке, подходящей для изделий простой формы толщиной более 2 мм, или к термохимическому упрочнению в остальных случаях. Для термохимического, или ионообменного, упрочнения материала необходимо содержание щелочного элемента, подходящего для замещения щелочным катионом большего радиуса в расплаве соли [1, 2]. В случае LiO2-Al2O3-SiO2 ситаллов химическое упрочнение может приводить к аморфизации кристаллической фазы, что негативно сказывается на свойствах, несмотря на увеличение прочности. В отличие от них, MgO-Al2O3-SiO2 и ZnO-Al2O3-SiO2 ситаллы не содержат щелочного иона в кристаллической фазе и не подвержены аморфизации, однако упрочнить их ионным обменом не удастся. Комбинация этих подходов открывает перспективы для создания высокопрочных, прозрачных и технологичных материалов.

В рамках исследования было синтезировано стекло на основе системы ZnO-MgO-Al2O3-SiO2 с добавлением 5 мол. % Na2O для последующей ионообменной обработки [3]. Синтез проводился при температуре 1600 °C с последующим формованием методом закалки и отжигом в муфельной печи при 610 °C. Термообработка включала выдержку при *T1* 660 °C в течение 4 часов с последующим нагревом до *T2* 750, 760, 770, 785, 800 и 850 °C и выдержкой в течение 10 часов. Рентгенофазовый анализ показал наличие смеси шпинелей во всех образцах. Степень кристалличности ситаллов составила около 10%, при этом образцы, обработанные при *T2* 800 и 850 °C, содержали дополнительно ортосиликаты цинка и магния, а степень кристалличности образцов превышала 20 %.

Для ионообменного упрочнения был выбран ситалл, термообработанный при *T2* 760 °C, с микротвердостью 8,4 ГПа и светопропусканием более 80 % в видимой области спектра. Образцы выбранного ситалла подвергались ионообменной обработке в расплаве селитры при 450 °C. В результате для образцов, сохранивших прозрачность, микротвердость увеличилась на 2,5  ГПа, достигнув значения 10,3 ГПа после 120 часов обработки, что на 55% превышает значения микротвердости исходного стекла.

Полученные результаты демонстрируют перспективность дальнейших исследований в области модификации состава стекол, оптимизации процессов ситаллизации и разработки режимов термохимической обработки прозрачных ситаллов для создания прозрачных ситаллов с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

**Литература**

1. S. Berneschi, G. C. Righini, S. Pelli. Towards a glass new world: the role of ion-exchange in modern technology // Appl. Sci. 2021. V. 11. I. 10. P. 4610.

2. C. Calahoo, L. Wondraczek. Ionic glasses: Structure, properties and classification // J. Non-Cryst. Solids. 2020. V. 8. P. 100054.

3. И.А. Веселов., А.С. Наумов, В.И. Савинков и др. Ионообменное упрочнение стекол ситаллообразующей системы ZnO–MgO–Al2O3–SiO2 с повышенным содержанием Na2O // Стекло и Керамика. 2024. Т. 97. №1. С. 14-22.