

гибридному, а фрагменты с контурными рисунками – периодическому растрованию.

Получение качественных печатных ризографических оттисков всегда ограничивается размером ячейки используемой мастер-пленки. В этой связи повышение качества возможно при применении определенного способа растрования, а также на результат полученного ризографического оттиска будет влиять выбор полиграфического материала, т. е. носителя печатного оттиска (бумаги).

Список использованных источников

1. Кузнецов, Ю. В. Основы подготовки иллюстраций к печати. Растрование : учеб. пособие / Ю. В. Кузнецов. – М. : МГУП «Мир книги», 1998. – 173 с.
2. Самарин, Ю. Н. Допечатное оборудование / Ю. Н. Самарин. – М. : Мир книги, 2002. – 555 с.
3. Клещев О. И. Технология полиграфии: допечатная обработка изображений / О. В. Клещев. – Екатеринбург : Изд-во УрГАХУ, 2020. – 115 с.
4. Стефанов, С. Полиграфия от А до Я : энциклопедия / С. Стефанов. – М. : URSS Либроком, 2014. – 556 с.
5. Басовский, Л. Е. Управление качеством : учеб. пособие / Л. Е. Басовский, В. Б. Протасьев. – М. : ИНФРА-М, 2005. – 211 с.

УДК 666.266.6.016.2

Ю.Г. Павлюкевич, М.В. Панцевич, У.В. Беднаровская
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТЕКОЛ И СИТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ ЛИТИЕВОАЛЮМОСИЛИКАТНОЙ СИСТЕМЫ

Аннотация. В работе представлены результаты разработки составов стекол для термостойких оптических ситаллов на основе системы $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$. Установлено, что введение P_2O_5 и комбинированного катализатора $\text{TiO}_2+\text{ZrO}_2$ позволяет получить технологичные стекла с высокой

кристаллизационной способностью. Определен оптимальный состав и режим термообработки, обеспечивающий формирование β -кварцеподобного твердого раствора в качестве единственной кристаллической фазы.

Yu.G. Pavlyukevich, M.V. Pantsevich, U.V. Bednarovskaya

Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus

STUDY OF TECHNOLOGICAL AND PHYSICAL, CHEMICAL PROPERTIES BASED ON A LITHIUM ALUMINOSILICATE SYSTEM

***Abstract.** The paper presents the results of developing glass compositions for thermostable optical glass-ceramics based on the $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ system. It has been established that the introduction of P_2O_5 and a combined $\text{TiO}_2+\text{ZrO}_2$ catalyst allows for the production of technologically viable glasses with high crystallization ability. The optimal composition and heat treatment regime have been determined, ensuring the formation of a β -quartz solid solution as the sole crystalline phase.*

Термостойкие оптические ситаллы являются ключевыми материалами для создания высокоточных оптических систем, в частности, светоотражающих зеркал рефлекторных телескопов. Их уникальность обусловлена возможностью достижения температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР), близкого к нулю, что обеспечивает стабильность геометрических параметров при резких перепадах температуры. В Республике Беларусь производство таких материалов отсутствует, что делает их разработку актуальной научно-технической задачей. Целью настоящей работы явилась разработка составов стекол для термостойких оптических ситаллов на основе литиевоалюмосиликатной (ЛАС) системы и установление взаимосвязи «состав – структура – свойства». Для решения этой задачи были спроектированы и синтезированы опытные составы стекол с варьированием содержания Li_2O и P_2O_5 при постоянном уровне комбинированного катализатора кристаллизации $\text{TiO}_2+\text{ZrO}_2$.

Синтез стекол проводился в газопламенной печи при температуре 1500–1550 °С. Все стекла имели характерный желтоватый оттенок из-за присутствия примесей железа в сырье. Исследование физико-химических свойств исходных стекол показало, что с увеличением содержания P_2O_5 их плотность возрастает (от 2404 до 2446 кг/м³), а микротвердость и ТКЛР снижаются. Наиболее перспективным

был признан состав, содержащий не менее 4% Li_2O и не более 6% P_2O_5 , который обладал оптимальным сочетанием низкого ТКЛР ($39,52 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ при 300°C) и высокой микротвердости (6107 МПа). Для подбора режима кристаллизации был использован метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) по методике А. Маротты. Оптимальный двухступенчатый режим термообработки был определен следующим образом: I стадия (нуклеация) — $660\text{--}700^\circ\text{C}$, 5 ч; II стадия (рост кристаллов) — $705\text{--}745^\circ\text{C}$, 10–50 ч.

Комплексное исследование продуктов кристаллизации методами рентгенофазового анализа (РФА) и рамановской спектроскопии подтвердило, что единственной кристаллической фазой во всех образцах является β -кварцеподобный твердый раствор $\text{Li}_x\text{Al}_x\text{Si}_{1-x}\text{O}_2$. С увеличением длительности II стадии термообработки степень закристаллизованности возрастает от 14% (10 ч) до 48% (50 ч). Этот процесс сопровождается закономерным улучшением физико-химических свойств ситаллов: плотность увеличивается до 2508 кг/м^3 , микротвердость — до 7284 МПа, а ТКЛР при 300°C снижается до отрицательного значения ($-3,94 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$). Ключевым результатом работы является получение образца РМ-30 (30 ч выдержки на II стадии), для которого ТКЛР в интервале температур $25\text{--}100^\circ\text{C}$ составляет $0 \pm 0,5 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$.

Это значение полностью соответствует требованиям, предъявляемым к материалам для астрономических зеркал, и превосходит промышленные аналоги (Sitall CO-115M, Zerodur®), у которых нормируемый интервал температур для околонулевого ТКЛР ограничен $25\text{--}50^\circ\text{C}$.

Таким образом, в ходе работы были разработаны новые составы стекол и установлен оптимальный режим их термообработки для получения термостойких оптических ситаллов. Полученный материал (РМ-30) по совокупности свойств — плотности (2477 кг/м^3), микротвердости (7093 МПа) и, в первую очередь, стабильно околонулевому ТКЛР в широком температурном диапазоне — соответствует лучшим мировым аналогам и может быть рекомендован для практического применения в аэрокосмической отрасли в качестве основы для светоотражающих зеркал.

Список использованных источников

1. Саркисов П. Д., Михайленко Н. Ю., Орлова Л. А. Стеклокристаллические материалы в структуре современного материаловедения // Стекло и керамика. – 2003. – №9. – С. 8–13.
2. Безбородов М. А. Стеклокристаллические материалы (синтез, составы, строение, свойства). – Мн.: Наука и техника, 1982. – 256 с.
3. Сигаев В. Н., Савинков В. И., Шахгильдян Г. Ю. и др. О возможности прецизионного управления температурным коэффициентом линейного расширения прозрачных литиевоалюмосиликатных ситаллов вблизи нулевых значений // Стекло и керамика. – 2019. – № 12. – С. 11–16.
4. Павлушкин Н. М. Химическая технология стекла и ситаллов: учеб. пособие. – Москва: Стройиздат, 1983. – 392 с.
5. ТУ 5961-088-04882451-2004 АО «Институт стекла». – 2004.

УДК 658.5

А.А. Борисов, М.А. Шестаков

Вологодский государственный университет
Вологда, Россия

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СЕБЕСТОИМОСТИ ПРОДУКЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

***Аннотация.** В рамках исследования проанализировала технология производства изделия «Коллиматорный прицел» АО «Вологодский оптико-механический завод». В результате предложены мероприятия, позволяющие значительно снизить трудоёмкость изделия без необходимости осуществления дополнительных инвестиций, что позволит повысить конкурентоспособность изделия.*

A.A. Borisov, M.A. Shestakov

Vologda State University
Vologda, Russia

APPLICATION OF LEAN MANUFACTURING METHODS TO OPTIMIZING THE COST OF PRODUCTION OF A MANUFACTURING ENTERPRISE