

СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВЫСОКОМОЩНЫХ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ УСТРОЙСТВ БЕЛОГО ЦВЕТА СВЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ

Е. Е. Трусова, Е. Р. Кравцова

*Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»,
Минск, Республика Беларусь
trusova@belstu.by*

В настоящее время светодиодное освещение является одним из перспективнейших направлений технологий искусственного освещения, которое основано на использовании светодиодов как источника света. Использование высокомо мощных осветителей на основе полупроводниковых лазеров в автомобилестроении и коммунальном хозяйстве позволит улучшить как освещенность дорог, что должно позитивно сказаться на безопасности пешеходов, так и условия труда ряда трудовых категорий (водители, строители, машинисты поездов и т.д.). Относительная компактность размеров, высокая яркость и малая потребляемая мощность также делает высокомо мощные источники освещения на основе лазерных диодов перспективными кандидатами для использования в спасательной и военной технике.

В качестве люминесцентных преобразователей традиционно используются алюмоиттриевые гранаты, содержащие примесь ионов церия и/или других элементов, а также применяются оптически прозрачные керамики, изготавливаемые из алюмоиттриевого граната в виде порошка путем компактирования и спекания.

Альтернативным решением для монокристаллов и оптически прозрачных керамик являются стеклокристаллические материалы, которые имеют ряд преимуществ по сравнению с другими материалами: низкая стоимость (в более чем 30 раз ниже, чем монокристалл); высокая воспроизводимость при получении; отсутствие необходимости в сложном оборудовании; процесс получения отличается экономичностью и технологичностью; высокая фото- и термостабильность; экологичность (число циклов переработки не ограничено); производство может быть организовано на базе практически любого стекловаренного производства.

В случае использования синего лазера в качестве источника возбуждающего излучения важным является «внесение» в люминесцентный преобразователь центров рассеяния, что необходимо для получения рассеянного (а не узконаправленного) пучка света. В случае стеклокристаллических материалов ими выступают сами кристаллы люминофора, размер и количество которых возможно регулировать, варьируя условия кристаллизации стекла.

Постоянный рост рынка светодиодной техники будет стимулировать спрос на соответствующую продукцию с каждым годом. Кроме того, ввиду более низкой стоимости, стеклокристаллические люминесцентные преобразователи и высокомо мощные источники света на их основе станут доступны гораздо большему кругу производителей.

Целью настоящей работы является разработка составов и технологии получения стеклокристаллических материалов для светоизлучающих устройств белого цвета свечения.

Исходные стекла синтезированы на основе стеклообразующей $\text{Li}_2\text{O}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CeO}_2$ системы в газовой печи при максимальной температуре $1500 \pm 10^\circ\text{C}$. Отжиг стекол осуществлялся при 600°C . Стекла характеризуются плотностью $3368-3625 \text{ кг/м}^3$, температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР) – $(37,02-41,09) \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1}$, микротвердость экспериментальных стекол изменяется от 3984 до 6163 МПа. Для оценки химической стойкости используется гидролитическая классификация, в соответствии с которой исследуемые стекла относятся к III гидролитическому классу.

Получение стеклокристаллических материалов проводят с применением двухступенчатого, в некоторых случаях даже многоступенчатого, режимов тепловой обработки, что связано с необходимостью образования на 1-ой ступени центров кристаллизации, а на 2-ой – формирования и роста кристаллов.

Для определения температур термообработки использован метод дифференциально-сканирующей калориметрии. Разработан температурно-временной режим термообработки стекол в интервале 1150–1300 °С в течение 60 минут. Стеклокерамика с гранатовой фазой проявляется для всех составов стекол (рисунок 1). Однако, в случае стекла состава с минимальным содержанием оксида иттрия и содержанием оксида бора 25 мас.% формируется примесная фаза $Y_2B_2O_6$.

Особое внимание привлекает тонкая структура пиков. Наблюдаемая асимметрия указывает на образование гранатов с разной степенью замещения. Методом электронной микроскопии подтверждено образование кристаллов с типичной структурой граната. Средний размер кристаллов составляет 4–12 мкм. Отсутствие различных видов включений (поры, трещины или кристаллические отложения) указывает на высокую когерентность границ формирующихся кристаллов.

Спектры возбуждения люминесценции термообработанных стекол состоят из двух широких полос с максимумами 350 нм и 450 нм, которые соответствуют оптическим переходам иона церия. По сравнению с типичными полосами поглощения в гранатах, легированных церием, в термообработанных стеклах полосы более широкие и асимметричные. Эти особенности можно объяснить вкладом ионов Ce^{3+} с несколько иным окружением и, следовательно, кристаллическим полем и дополнительным поглощением Ce^{3+} в области 350 нм в матрице стекла.

Фотолюминесценция термообработанных стекол основана на излучении Ce^{3+} , которое состоит из двух широких сильно перекрывающихся полос, обусловленных расщеплением основного состояния на два подуровня. Локальное поле может сместить подуровни и, следовательно, спектральное положение полосы. В спектре люминесценции при возбуждении на длине волны 365 нм (рисунок 1) преобладает полоса при 530–550 нм, обусловленный эмиссией ионов Ce^{3+} из структуры граната, тогда как менее интенсивная полоса с максимумом при 390 нм обусловлена эмиссией Ce^{3+} из матрицы стекла. При возбуждении 442 нм наблюдается одна широкая полоса излучения с максимумом 530–550 нм.

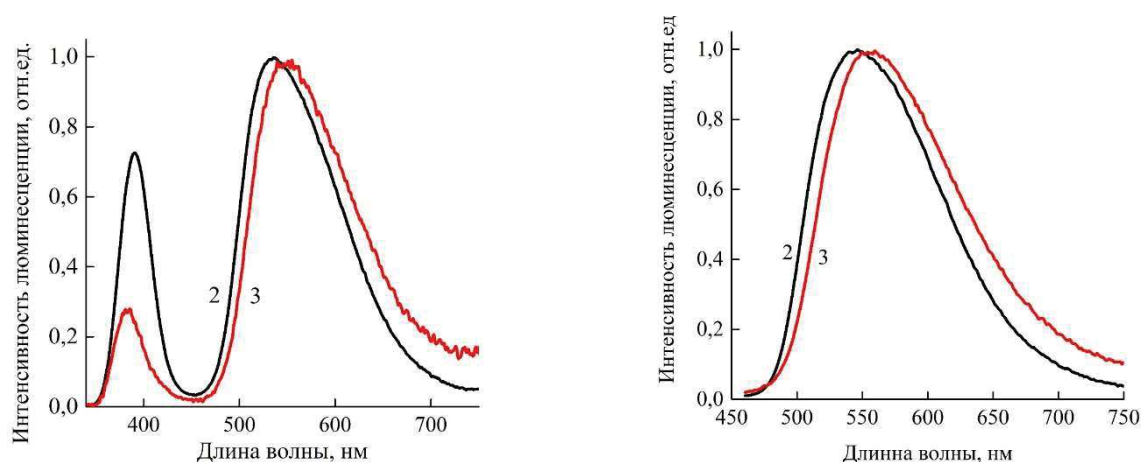


Рисунок 1 – Спектры люминесценции термообработанных стекол при возбуждении на длине волны 365 нм и 442 нм

Установлено, что пластинки (5x5x0.5) мм разработанного стеклокристаллического материала достаточно для использования в комбинации с 3 Вт синим лазером. Разработанные материалы будут выступать как в роли предлагаемого продукта самостоятельно, так и служить базой для разработки высокомоощных источников света на основе синих полупроводниковых лазеров (компактных прожекторов для дронов, лазерных фар для автомобилей, фар для поездов и другой техники).