

ксенона 4 атм, которая достигала значений 12 % от вложенной в разряд энергии.

Достигнутые значения уровня бактерицидных потоков сохранялись при работе ламп в частотных режимах от 10 до 100 Гц. Электрод инициирующий формирование плазменного канала обеспечивал устойчивое его положение относительно разрядных электродов, что позволило в частотном режиме работы ламп зафиксировать его пространственное расположение и высокую стабильность повторения импульсов УФ-излучения.

Полученные результаты демонстрируют возможность создания высокоэффективных импульсных генераторов УФ-излучения с компактным телом излучения, работающих с частотами от еди-

ниц до сотен Гц, обладающих высокой стабильностью УФ-потока, для оптикоэлектронных систем различного назначения (медицина, экология, фотохимия и т. д.)

Литература

1. Ушаков, И. Стерилизующий свет / И. Ушаков, Н. Новикова, С. Шашковский // Наука в России. – 2011. – № 6 (186). – С. 11–16.
2. Плазменно-оптические технологии обеззараживания и обезвреживания объектов среды обитания / В. П. Архипов // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2011. – С. 120–134.
3. Импульсная короткодуговая трехэлектродная газоразрядная лампа для оптикоэлектронных систем УФ-обеззараживания: сб.ст./ 16-я междунар. науч. тех. конф. «Приборостроение – 2023», Минск, 2023.

УДК 628.9.037

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКЛОЛЮМИНОФОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Трофимов Ю. В.¹, Лишик С. И.¹, Сурвило Л. Н.¹, Грушко Н. Н.¹, Цвирко В. И.¹, Комса О. С.¹, Фан Ц.²

¹РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси»

Минск, Республика Беларусь

²Фуданский университет

Шанхай, Китай

Аннотация. Разработаны образцы стеклолюминофоров на основе боросиликатной стеклообразующей системы и алюмоиттриевого граната. Исследованы светотехнические характеристики в зависимости от концентрации, толщины и степени полировки. Полученные образцы термически и химически стабильны, сохраняют эффективность преобразования излучения люминофором при накачке лазером мощностью 1 Вт.

Ключевые слова: стеклолюминофорный преобразователь, алюмоиттриевый гранат, трафаретная печать.

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR PRODUCTION OF PHOSPHOR-IN-GLASS CONVERTERS

Trofimov Yu.¹, Lishik S.¹, Survilo L.¹, Hrushko N.¹, Tsvirko V.¹, Komsa O.¹, Fan J.²

¹SE “Center for LED and Optoelectronic Technologies of the NAS Belarus”

Minsk, Republic of Belarus

²Fudan university

Shanghai, China

Abstract. Samples of glass phosphors based on a borosilicate glass-forming system and yttrium aluminium garnet have been developed. The lighting characteristics were studied depending on the concentration, thickness and degree of polishing. The resulting samples are thermally and chemically stable and retain the efficiency of radiation conversion by the phosphor when pumped by a 1 W laser.

Key words: phosphor-in-glass converter, yttrium aluminium garnet, screen printing.

Адрес для переписки: Лишик С. И., Логойский тракт, 20, г. Минск 220090, Республика Беларусь
e-mail: Rnd@ledcenter.by

Большинство белых светодиодов представляют собой синий светодиодный кристалл, покрытый органическим полимером, содержащим желтый люминофор. Такое изделие имеет ограниченную яркость, поскольку высокие уровни плотности излучения накачки приводят к тепловому разрушению полимерной матрицы люминофорных преобразователей (ЛП). Разработка полупроводниковых источников белого света с высокой яркостью требует высокостабильных ЛП для применения в специализированных источниках осве-

щения и сигнализации, автомобильных фарах, информационных проекторах и пр. Благодаря своим превосходным оптическим свойствам, химической, термической стабильности и низкой стоимости стекло является идеальным выбором для белых источников света, у которых накачкой служит синий лазерный диод (ЛД). [1].

Экспериментальная часть. В рамках данной работы были разработаны и исследованы стеклолюминофорные композиции на основе порошков боросиликатного стекла, алюмо-иттриевого гра-

ната $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ (YAG), оксинитридного люминофора $CaAlSiN_3:Eu^{2+}$, а также связующим этилцеллюлозой в терпинеоле. Концентрация люминофора варьировалась в пределах от 10 до 40 %.

Нанесение стеклолюминофоров на ситалловые подложки осуществлялось методом трафаретной печати в 1–4 слоя (толщина 1 слоя ~ 60 мкм).

Термическая обработка образцов выполнялась в муфельной печи в диапазоне температур от 650 до 725 °С в течении 30–60 мин для определения оптимального режима и включала предварительную стадию выжигания связующего.

Для измерения оптических характеристик образцов использовался спектрорадиометр CAS140D с интегрирующей сферой ISP500 диаметром 500 мм. Для возбуждения образцов применялся ЛД PLTB450B (444 нм, оптическая мощность до 1,6 Вт).

Шлифовка с мелкозернистой шлифовальной бумагой P1200 и полировка с помощью алмазного абразива с размером частиц 1 мкм на черном фетре осуществлялась с использованием шлифовально-полировального станка eGP-1D (Китай).

Микрофотографии образцов получены с использованием микроскопа МИКРО 200Т-01.

Результаты и обсуждение. Типичная зависимость светового потока от мощности ЛД приведена на рисунке 1. В зависимости от концентрации люминофора максимальное значение светового потока составляло 45–70 лм, а мощность ЛД 0,45–0,78 Вт.

Максимальное значение светового потока при более высоком уровне лазерного возбуждения наблюдалось при концентрации люминофора 10 %. Дальнейшее увеличение концентрации люминофора приводило к снижению светового потока, что обусловлено концентрационным и температурным гашением фотолюминесценции.

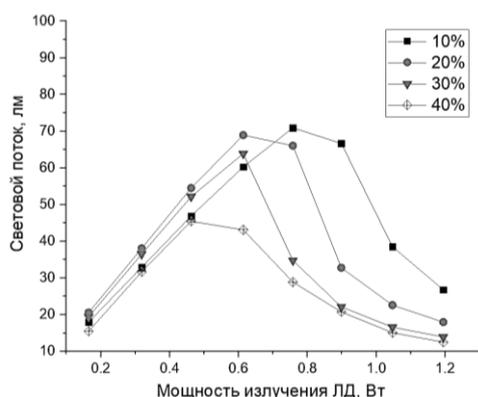


Рисунок 1 – Типичные зависимости светового потока стеклолюминофорных образцов от мощности излучения ЛД и концентрации люминофора (толщина 60 мкм, 1 слой)

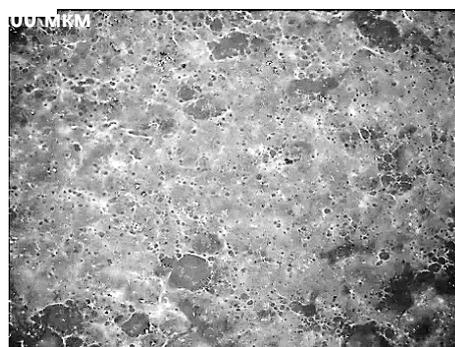
Однако при повышении температуры термообработки наиболее оптимальной являлась концентрация люминофора 20 %.

В таблице 1 приведены светотехнические характеристики источника света с различными образцами ЛП в зависимости от их толщины при концентрации люминофора 10 %.

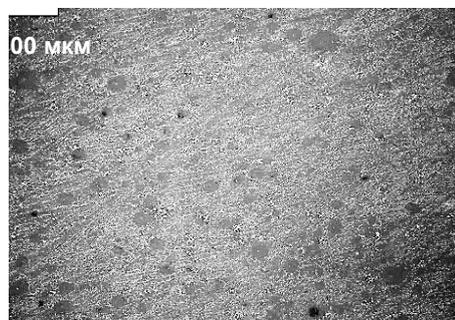
Увеличение толщины образцов путем нанесения методом трафаретной печати 3–4 слоев стеклолюминофорной композиции (образцы № 2, 3) приводило к повышению светового потока до 98–107 лм (увеличение на 42–52 %). Причем при однократном отжиге (образец № 2) генерируемый световой поток был несколько больше, чем при многократном отжиге (образец №3). Предположительно, более низкая эффективность образца №3 объясняется тем, что при многократном отжиге образуется граница раздела слоев. Дальнейшее увеличение толщины образцов приводит к снижению их светоотдачи, что обусловлено ухудшением теплоотвода и снижением эффективности люминофора.

Таблица 1 – Характеристики образцов ЛП

Образец	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Концентрация люминофора, %	10			
Количество слоев	1	4	3	4
Толщина, мкм	60	190	190	140
Макс. световой поток, лм	71	107	98	137
Мощность ЛД, Вт	0,76	0,97	0,92	1,12
Индекс цветопередачи CRI	–	–	–	68
КЭТ, К	–	31000	–	8250



а



б

Рисунок 2 – Микрофотографии поверхности образцов до (а) и после (б) шлифовки

Также исследовалось влияние степени полировки образцов на их светоотдачу. Как было показано ранее [2], минимизация шероховатости поверхности улучшает светоотдачу стеклолюминофорных образцов. На рисунке 2 представлены микрофотографии образцов стеклолюминофорных пленок до (образец № 2) и после (образец № 4) полировки. После полировки толщина ЛП №2 уменьшилась до 140 мкм (образец № 4). При этом максимальное значение светового потока ЛП увеличилось на 28 % при увеличении максимально допустимой мощности ЛД на 15 %, а коррелированная цветовая температура (КЦТ) уменьшилась с 31000 К до 8250 К. Изменение КЦТ объясняется снижением доли синего излучения ЛД, рассеивающегося микрошероховатой поверхностью ЛП.

Важным параметром белых источников света с ЛП являются общий индекс цветопередачи (CRI). Для достижения приемлемых значений CRI

(~86) в состав стеклолюминофорной композиции вводился красный $\text{CaAlSiN}_3:\text{Eu}^{2+}$ люминофор.

Таким образом, разработаны эффективные стеклолюминофорные композиции на основе боросиликатного стекла, YAG и нитридного люминофоров, обладающие высокими светотехническими характеристиками, а также термо-, фото- и химической стабильностью.

Литература

1. Chung, W. A Review on Phosphor in Glass as a High-Power LED Color Converter: a review / W. J. Chung, Y. H. Nam // Journ. of Sol. State Scie. Technol.–2020.–V.9.– 016010.
2. Enhancing luminous flux and color rendering of laser-excited $\text{YAG}:\text{Ce}^{3+}$ single crystal phosphor plate via surface roughening and low-temperature sintering a $\text{CaAlSiN}_3:\text{Eu}^{2+}$ phosphor-in-borate glass / W. Chen [et al.] // J. of Luminescence–2022. – V. 251.

УДК 621.375.826

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ТЕА ЛАЗЕР С ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ ЛИНИЙ ГЕНЕРАЦИИ Шавель С. С., Горобец В. А., Бушук С. Б.

*ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Предложен, разработан и реализован ТЕА лазер с быстрой (время переключения 0,2 секунды) последовательной генерацией импульсов на нескольких длинах волн в существенно отличающихся между собой спектральных диапазонах (1,0–4,0 и 9,2–10,8 мкм.) Переключение между каналами генерации осуществляется за счет последовательного внесения в каждый из каналов непрозрачной маски, которая блокирует генерацию в каждом резонаторе и оставляет прозрачное окно только для генерирующей линии в соответствии с заданным алгоритмом. Разработанный лазер может быть использован в качестве источника излучения в дистанционном газоанализаторе.

Ключевые слова: ТЕА лазер, инертные газы, CO_2 .

MULTI-WAVE TEA LASER WITH FAST SWITCHING OF GENERATION CHANNEL Shavel S., Gorobets V., Bushuk S.

*State Research and Production Association “Optics, optoelectronics and laser technology”
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. A TEA laser with fast (switching time 0.2 seconds) sequential generation of pulses at several wavelengths in significantly different spectral ranges (1.0–4.0 and 9.2–10.8 μm) has been proposed, developed and implemented. Switching between generation channels is performed by sequentially introducing an opaque mask into each channel, which blocks generation in each cavity and leaves a transparent window only for the generating line in accordance with a special algorithm. The developed laser can be used as a radiation source in a remote gas analyzer.

Key words: TEA laser, inert gases, CO_2 .

*Адрес для переписки: Шавель С.С., пр. Независимости, 68, г. Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: shavel_s07@mail.ru*

Введение. В работе представлены результаты по получению в ТЕА лазерной системе с улучшенной конструкцией лазерной генерации с пиковой выходной мощностью в 10 и более кВт в нескольких спектральных диапазонах за счет использования комбинированной газовой смеси, содержащей помимо молекул CO_2 инертные газы, в которых реализуется генерация на электронных

переходах. Однако проведенные исследования показали, что для практического использования в дистанционных газоанализаторах необходимо максимально уменьшать взаимовлияние каналов генерации, что само по себе является сложной научно-технической задачей. Важно также обеспечить простое и надежное разделение каналов генерации в приемном тракте.