

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,  $\text{CO}_2$ .

### 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  $\mu\text{m}$ ) 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.

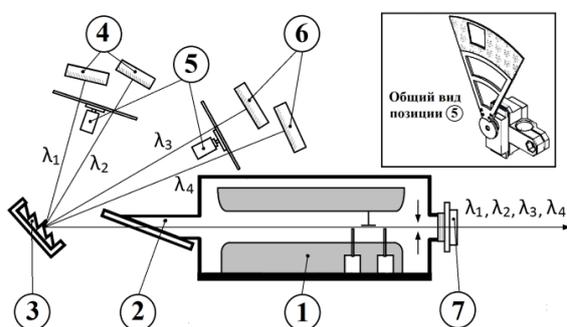
**Key words:** TEA laser, inert gases,  $\text{CO}_2$ .

*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  $\text{CO}_2$  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.

Все эти условия легко выполняются при переходе к квазиодновременной генерации, при которой происходит быстрое переключение между каналами, достаточное для выполнения условий «замороженной атмосферы» (десять доли секунды). При этом происходит разделение импульсов на разных длинах волн по времени следования, а процессы перекачки энергии между каналами генерации отсутствуют. Техническим препятствием к реализации подобной схемы работы является сложность быстрой механической перестройки по линиям генерации. В настоящей работе предложено решить эту проблему за счет применения неавтоколлимационной многоволновой схемы резонатора [1], в которой в каждом из каналов генерации попеременно вносятся блокирующие генерацию элементы (рисунок).



1 – разрядная камера; 2 – окно Брюстера;  
3 – дифракционная решетка; 4 – отражающие зеркала резонатора (диапазон 1–4 мкм);  
5 – электромеханический узел с блокирующим элементом; 6 – отражающие зеркала резонатора (диапазон 9,2–10,8 мкм); 7 – выходное зеркало резонатора

Рисунок – Оптическая схема лазера

Из рисунка видно, что основным отличием предложенной схемы от схемы резонатора [1], в которой происходит одновременная генерация на нескольких длинах волн, является наличие синхронизованных между собой электромеханических узлов, обеспечивающих блокировку каналов непрозрачной

маской. Узлы выполнены на базе цифровых сервоприводов, подключенных к управляющей плате с микроконтроллером Arduino и работающих по вновь созданному запрограммированному алгоритму. Для изменения положения непрозрачной маски в нужный момент времени управляющая плата имеет синхронизацию с блоком управления лазерным излучением. Предложенная схема позволяет переключать каналы за время порядка 0,2 секунды. При этом, генерация на возможных длинах волн осуществляется последовательно по заданной программе и может быть легко использована в приемном устройстве газоанализатора для идентификации импульсов.

**Заключение.** Таким образом, продемонстрирована возможность получения в реализованной ТЕА лазерной системе последовательной генерации импульсов в диапазонах 1,0–4,0 и 9,2–10,8 мкм за счет использования комбинированной газовой смеси, включающей небольшое количество инертных газов, молекул углекислого газа и буферного газа, например, Хе:СО<sub>2</sub>:Не.

Применение разработанного оптомеханического модуля позволяет, за счет реализации режима последовательной генерации импульсов, легко модифицировать широко распространенные лазеры для использования в качестве источника излучения в газоанализаторах, работающих по дифференциальному методу (применение «on-» и «off-» линий для каждого измеряемого газа). Следует отметить, что разрядная камера и источник питания лазера конструктивно идентичны типичным ТЕА СО<sub>2</sub> лазерам, что позволяет создавать лазерные источники для дистанционных газоанализаторов с минимальными затратами на разработку и использование минимального количества комплектующих.

#### Литература

1. ТЕА лазер, генерирующий в нескольких спектральных диапазонах / С. С. Шавель [и др.]. – Журнал прикладной спектроскопии. – 2023. – Т. 90, № 6. – С. 835–842.