

и 350 Торр, что косвенно свидетельствует о том, что данного давление наполнения оптимально для получения наибольшей энергии излучения в рассмотренном спектральном диапазоне, однако для определения оптимального p требуются дальнейшие исследования в более широком диапазоне пиковых объемных мощностей.

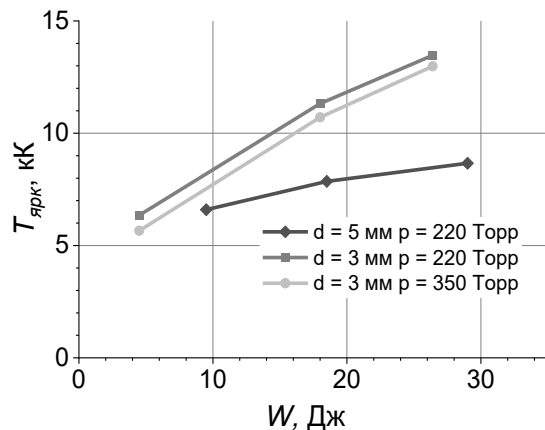


Рисунок 2 – Зависимость яркостной температуры от энергии разряда

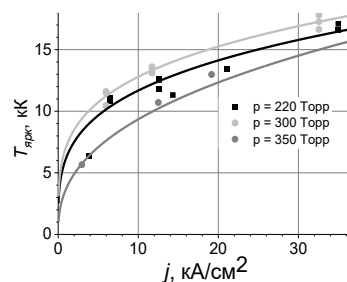


Рисунок 3 – Зависимость яркостной температуры излучения капилляра с $d = 3$ мм от плотности тока

Литература

1. Исследование бактерицидной эффективности обеззараживания воздуха и открытых поверхностей импульсным ультрафиолетовым излучением сплошного спектра / Н. В. Шестопапов [и др.] // Медицинский алфавит. – 2017. – Т. 2, № 18. – С. 5–8.
2. Импульсные источники света / под ред. И. С. Маршака. – М.: Энергия, 1978. – 472 с.
3. Киреев, С. Г. Измерение спектрально-энергетических характеристик импульсных источников излучения сплошного спектра / С. Г. Киреев, В. П. Архипов, С. Г. Шашковский, Н. П. Козлов // Фотоника. – 2017. – № 8(68). – С. 48–56.

УДК 621.375.826

МНОВОВОЛНОВОЙ ТЕА ЛАЗЕР С КОМБИНИРОВАННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ ГЕНЕРАЦИИ

Шавель С. С., Горобец В. А., Бушук С. Б.

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

Аннотация. Для реализации мнововолнового режима в ТЕА лазере, генерирующем в нескольких спектральных диапазонах (1,1–3,5 и 9,2–10,8 мкм), используемом в дистанционном газоанализаторе, предложена неавтоколлимационная схема резонатора, сопряженная с разделением каналов генерации по взаимно ортогональным поляризациям. Разработана конструкция такого лазера с реализацией заданной последовательности световых импульсов на разных длинах волн. Переключение между линиями генерации осуществляется за счет последовательного автоматизированного внесения в каждый из каналов непрозрачной маски. Предложенная схема резонатора позволяет не только оптимизировать геометрическое расположение оптических элементов лазера, но и значительно облегчает последующую регистрацию излучения в приемном блоке газоанализатора.

Ключевые слова: ТЕА лазер, инертные газы, CO₂, поляризация.

MULTI-WAVE TEA LASER WITH COMBINED CHANNEL SEPARATION

Shavel S. S., Gorobets V. A., Bushuk S. B.

State Research and Production Association "Optics, optoelectronics and laser technology", Minsk, Belarus

Abstract. To compliment a multi-wave mode in a TEA laser generating in several spectral ranges (1.0–4.0 and 9.2–10.8 μm) used in a remote gas analyzer, a non-autocollimation cavity scheme based on the separation of generation channels by mutually orthogonal polarizations is proposed. A design of such laser with the realisation of a pre-defined sequence of light pulses at different wavelengths has been developed. Switching between oscillation lines is carried out by automatized introducing an opaque mask into each of the channels. The proposed cavity scheme allows not only to optimize the geometric arrangement of the laser optical elements, but also significantly facilitates the subsequent registration of the studied radiation in the receiving unit of gas analyzers.

Keywords: TEA laser, inert gases, CO₂, polarization.

Адрес для переписки: Шавель С. С., пр. Независимости, 68-1, ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», г. Минск 220072, Республика Беларусь,
e-mail: shavel_s07@mail.ru

Введение. В работе представлены результаты по получению лазерной генерации в ТЕА лазерной системе, работающей в нескольких спектральных диапазонах за счет использования комбинированной газовой смеси, содержащей помимо молекул CO_2 инертные газы.

Возможность получения одновременной генерации в двух спектральных диапазонах 1,1–3,5 и 9,2–10,8 мкм обеспечивается за счет использования комбинированной газовой смеси, включающей небольшое количество излучающих инертных газов и молекул углекислого газа и много гелия (например, $\text{Xe}:\text{CO}_2:\text{He} = 1:1:100$). Генерация в каждом из диапазонов (1,1–3,5 и 9,2–10,8 мкм) происходит на инертных газах (Xe , Kr , Ar , Ne) и молекулах CO_2 , соответственно [1].

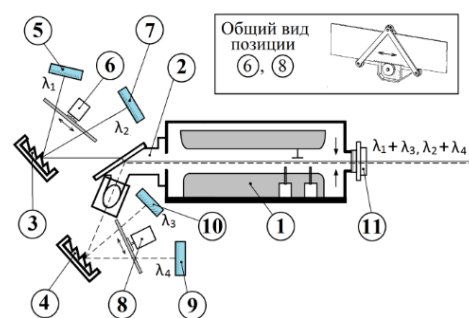
При этом, важно также обеспечить простое и надежное разделение линий генерации.

Обычно для получения линий генерации в схеме многоволнового селективного резонатора лазера используется неавтоколлимационное расположение оптических элементов с использованием дополнительных зеркал. Альтернативным путем получения нескольких генерирующих линий является разделение по поляризации. Каждая из схем имеет преимущества и недостатки. В неавтоколлимационной схеме – это трудности с геометрическим разнесением близкорасположенных линий генерации. При разделении по поляризации число возможных каналов ограничено (2 канала).

В настоящей работе предлагается совместить оба подхода за счет селекции каналов генерации как по поляризации, так и с помощью неавтоколлимационной многоволновой схемы резонатора, в которой в каждом из каналов попеременно вносятся блокирующие элементы, поочередно перекрывающие линии генерации в каждом канале.

Схема лазера приведена на рисунке 1.

Из рисунка видно, что генерация канала I (сплошная линия) формируется в резонаторе, образованном глухими зеркалами 5, 7 с радиусом кривизны 6,8 м и плоской дифракционной решеткой 3 (100 штрих/мм), работающей в первом порядке (коэффициент отражения 0,94). Вывод излучения (~30 %) осуществляется через выходное зеркало 11. Резонатор канала II (пунктир) образован зеркалами 9, 10, дифракционной решеткой 4, подобной решетке 3, и окном 2 с пластиной из стекла ZnSe , расположенной под углом Брюстера. Окно 2 полностью пропускает линейно поляризованное излучение, формируемое в резонаторе канала I, и в то же время отражает ортогонально поляризованное излучение, формируемое в резонаторе канала II. Вывод излучения осуществляется через выходное зеркало 11. Таким образом, происходит разделение излучения по взаимно ортогональным поляризациям, генерируемого в одной активной среде. База резонатора для каналов I и II составляла ~1,5 м.



1 – разрядная камера; 2 – окна Брюстера для «параллельного» и «ортогонального» излучения; 3, 4 – дифракционная решетка; 5, 7 – отражающие зеркала резонатора (канал I); 6, 8 – электромеханический узел с блокирующим элементом; 9, 10 – отражающие зеркала резонатора (канал II); 11 – выходное зеркало резонатора

Рисунок 1 – Оптическая схема лазера

Для быстрого переключения линий генерации используются установленные в резонаторах каналов синхронизованные между собой электромеханические узлы 6 и 8 сдвигаемыми непрозрачными масками. Эти узлы, в соответствии с заданным алгоритмом, обеспечивают поочередную блокировку отдельных линий генерации, оставляя окно только для одной генерирующей линии в каждом из каналов с взаимно ортогональной поляризацией. Узлы выполнены на базе цифровых шаговых двигателей, подключенных к управляющей плате с микроконтроллером Arduino и работающих по вновь созданному запрограммированному алгоритму. Плата, управляющая положением непрозрачных масок, имеет синхронизацию с блоком управления лазерным излучением. Предложенная схема позволяет переключать каналы за время менее одной секунды. При этом, тот факт, что генерация на возможных длинах волн осуществляется последовательно по заданной программе, может быть легко использован в приемном устройстве газоанализатора для идентификации импульсов.

Предложенная схема резонатора может легко быть модифицирована на нужное количество линий генерации за счет увеличения числа дополнительных зеркал в каждом канале с разной поляризацией.

В случае реализации схемы, приведенной на рисунке, можно получить по две спектрально отличающихся линии генерации для каждого поляризационно отличающегося канала излучения.

Следует отметить, что все каналы генерации могут работать одновременно, если исключено их взаимное влияние друг на друга, например, за счет эффекта «узкого вращательного горла» [2] или за счет использования разных сортов активных молекул и механизмов возбуждения (например для генерации на CO_2 и инертных газах [1]). На практике, однако, при работе в составе дистанционного газоанализатора предпочтительнее использовать переключение каналов генерации, настроенных на

разные диапазоны. Это позволяет заранее настраивать лазер на работу с заданными линиями и избежать применения подвижных элементов резонатора, ухудшающих точность настройки на линию. Возможность синхронизации световых импульсов зондирующего лазера с фотоприемниками приемного блока также значительно облегчает последующую обработку сигналов.

Заключение. Таким образом, предложена схема получения в ТЕА лазерной системе генерации в заданной последовательности импульсов в диапазонах 1,1–3,5 и 9,2–10,8 мкм за счет использования комбинированного резонатора с поляризационным и спектральным разделением линий генерации. Генерация в двух диапазонах осуществляется на молекулах инертных газов и

CO₂. Такая система может найти применение в газоанализаторах, работающих по дифференциальному методу (применение «on-» и «off-» линий для каждого измеряемого газа), где требуется попарная одновременная генерация в нескольких спектральных диапазонах.

Литература

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

2. Кунцевич, Б. Ф. Полевой механизм одновременной генерации на нескольких переходах в ТЕА CO₂-лазерах / Б. Ф. Кунцевич [и др.] // Квантовая электроника. – 1993. – Т. 20, № 6. – С. 559–566.

УДК 535; 004.032.26

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Шанчук В. А., Артюхина Н. К., Чергейко С. В.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. В работе представлен обзор основных задач, в рамках которых является целесообразным применять алгоритмы на основе нейронных сетей. Кратко описаны основные особенности работы алгоритмов, а также перспективы их применения для проектирования современных оптических систем.

Ключевые слова: нейронные сети, искусственный интеллект, оптическая система, проектирование.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO MODERN OPTICAL SYSTEMS DESIGN

Shanchuk V. A., Artiukhina N. K., Charheika S. V.

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. This paper provides an overview of the main tasks in which it is advisable to apply algorithms based on neural networks. The basic features of the algorithms are briefly described, as well as the prospects for their application for the modern optical systems design.

Keywords: neural networks, artificial intelligence, optical system, design.

*Адрес для переписки: Шанчук В. А., ул. Макаенка 25, г. Минск, 220114, Республика Беларусь
e-mail: vdmisacnewera@gmail.com*

Введение. Проектирование оптических систем – сложный итерационный процесс, требующий глубоких знаний в различных областях оптики и значительных временных, а также вычислительных затрат. С развитием оптических приборов появилась необходимость создания компактных, высокопроизводительных и специализированных оптических систем, что побуждает находить и развивать новые методы проектирования оптических систем на основе искусственного интеллекта (ИИ). Различные методы и виды машинного обучения и глубоких нейронных сетей открывают новые возможности для ускорения разработки и оптимизации различных оптических приборов и компонентов.

Области применения ИИ. На сегодняшний день основным направлением является применение ИИ для оптимизации параметров различных видов оптических систем. Традиционные методы проектирования часто требуют сложных итерационных вычислений, тогда как алгоритмы ИИ могут быстро анализировать большие объемы

данных и находить оптимальные решения. Например, нейронные сети успешно применяются для моделирования голографических элементов и метаповерхностей [1].

Одно из ключевых развивающихся направлений – использование машинного обучения для автоматического проектирования оптических линз. ИИ позволяет автоматизировать процесс выбора геометрии и параметров линзы, сокращая временные затраты и снижая количество проводимых итерационных вычислений. Также нейронные сети могут использоваться для быстрого синтеза базовых оптических систем, которые являются хорошей основой для последующей их оптимизации в специализированном программном обеспечении и доведения до состояния рабочего варианта системы, удовлетворяющего предъявляемым к нему требованиям [2].

Также нейронные сети начинают применять в тех случаях, когда инженеру-оптику необходимо выбрать ряд материалов, которые будут использоваться для расчета оптической системы