

рации. Для экспериментов был выбран полусферический резонатор (радиус кривизны выходного зеркала – 30 мм). Пропускание выходного зеркала составляло 1 %.

На рисунке 3 представлены зависимости выходной мощности лазеров на основе кристаллов Ho:KYW

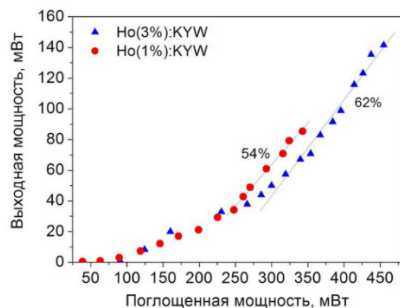


Рисунок 3 – Зависимость выходной мощности Ho(1 ат. %):KYW и Ho(3 ат. %):KYW лазеров, работающих в непрерывном режиме генерации от поглощенной мощности накачки

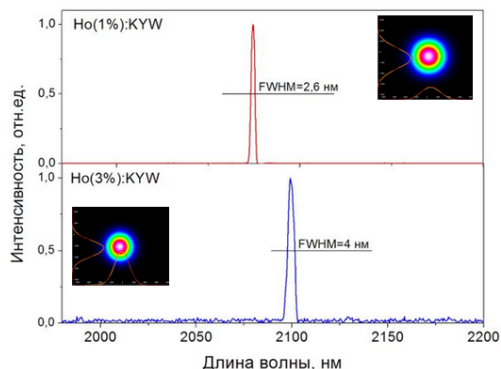


Рисунок 4 – Спектры генерации лазеров на основе кристаллов Ho(1 ат. %):KYW и Ho(3 ат. %):KYW

Максимальная выходная мощность лазеров на основе кристаллов Ho(1 ат. %):KYW и Ho(3 ат. %):KYW составляла 85 иВт и 141 мВт, и ограничивалась максимальной мощностью источника накачки. Дифференциальная эффективность по отношению к падающей мощности накачки составляла 37 % для кристалла Ho(1 ат. %):KYW и 58 % и для кристалла Ho(3 ат. %):KYW. По отношению к поглощенной мощности накачки 54 % и 62 %, соответственно. С ростом концентрации ионов гольмия, наблюдалось увеличение порога генерации от 63 мВт до 90 мВт по поглощенной мощности накачки. Что может быть обусловлено более высокими ап-конверсионными потерями для кристалла Ho(3 ат. %):KYW. В обоих случаях излучение генерации было поляризовано вдоль оси оптической индикатрисы Nm и лазеры работали в режиме генерации TEM₀₀ моды. Спектры генерации представлены на рисунке 4.

Максимум в спектре генерации Ho(1 ат. %):KYW лазера соответствовал длине волны 2074 нм, для кристалла Ho(3 ат. %):KYW – 2099 нм.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (код проекта Ф19М-075).

Литература

1. K. Scholle, S. Lamrini, P. Kookmann and P. Fuhrberg, 2μ laser sources and their possible applications (Frontiers in Guided Wave Optics and Optoelectronics B Pal. Ed., InTech, Rijeca, Croatia, 2010)
2. V. Jambunathan, X. Mateos, P.A. Loiko, J.M. Serres, U. Griebner, V. Petrov, K.V. Yumashev, M. Aguilo, F. Diaz, "Growth, spectroscopy and laser operation of Ho:KY(WO₄)₂", J. of Lum, 2016, 179. Pp. 50–58.

УДК 528.8.042

МАКЕТ ЛАЗЕРНОГО ЛОКАТОРА МАЛОГО РАДИУСА ДЕЙСТВИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТРИЧНОГО ФОТОПРИЁМНИКА

Гусаров И.Е.¹, Алексеев Н.И.¹, Калугин А.И.², Антонов Е.А.², Зарипов М.Р.²

¹ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашикова»
Ижевск, Российская Федерация

²Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН
Ижевск, Российская Федерация

Введение. Лазерная локация представляет собой совокупность методов обнаружения, измерения угловых и пространственных координат, а также распознавания формы удалённых объектов с помощью лазерного излучения. Лазерный локатор облучает объект с помощью излучателя и принимает отражённое от цели излучение при помощи фотоприёмной системы. Фотоприёмная система преобразует оптический сигнал в электрический. Полученный таким образом электрический сигнал содержит информацию о параметрах лоцируемого объекта. Задачей лазерной ло-

кации является в том числе расшифровка такого сигнала, определение координат объекта и его типа.

В данный момент существует проблема, связанная с невозможностью обнаружения и распознавания объектов малого размера. Современные локационные системы в подавляющем большинстве в качестве зондирующего сигнала используют радиоволны, что, в свою очередь, накладывает ограничения на минимальный размер распознаваемого объекта [1]. Что касается лазерных локаторов, то они также не лишены недостатков.

Принцип работы такого типа локаторов заключается в последовательной регистрации оптических сигналов из некоторого зондируемого участка, который может обеспечить параметры фотоприёмника. Стоит отметить, что размеры зондируемой области могут намного превышать поле зрения фотоприёмного элемента, что, в свою очередь, потребует передвижения локатора или же применения сложной приёмной оптической системы для достижения необходимого размера кадра. Вторым недостатком является скорость сканирования пространства, так как фотоприёмный элемент, в данном случае, участвует в определении как угловых координат объекта, так и расстояния до него. Под этим подразумевается невозможность приёма и расшифровки следующего сигнала до момента пока не получена информация от предыдущего.

Описание разработанного макета лазерного локатора. Описанные выше недостатки будут решены использованием матричного фотоприёмника [2], который будет выполнять функцию быстрого построения изображения сканируемой области для дальнейшего обнаружения и распознавания объекта, и отдельного дальномерного модуля.

Классический лазерный локатор состоит из четырёх подсистем [3, 4]: блока излучателя, приёмного блока, блока управления и сканирующей системы. Кроме того, в состав локатора может быть добавлена система слежения за объектом.

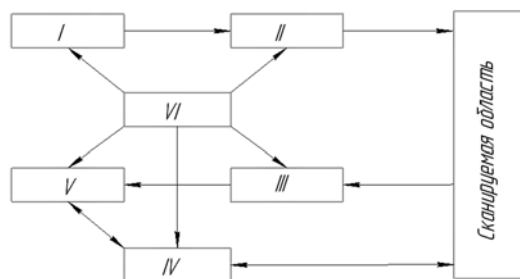


Рисунок 1 – Структурная схема макета лазерной локаторной системы:

I – Блок излучателя, *II* – Блок сканирования, *III* – Блок приёмной системы, *IV* – Блок слежения, *V* – Блок управления и анализа, *VI* – Общий блок питания

Разработанный макет лазерного локатора состоит из шести подсистем (рисунок 1): блок излучателя, блок сканирования, блок приёмной системы, блок слежения, блок управления и анализа, общий блок питания. Задачей блока излучателя является формирование импульсов лазерного излучения с требуемой мощностью, длительностью и частотой. Далее сканирующий блок формирует и посылает лазерный пучок в определенном направлении с заданными азимутальным и зенитным углами. Отраженный от объектов, находящихся на пути пучка, оптиче-

ский сигнал поступает в блок приемной системы, который преобразует его в электрический сигнал и передает в блок управления и анализа. Блок управления и анализа осуществляет контроль и управление всеми блоками локаторной системы, а также выделяет полезный сигнал, производит его анализ и расшифровку, определяет цель, за которой требуется слежение. Блок слежения выполняет наблюдение за заданным объектом, при этом измеряет расстояние до него и скорость его движения.

На рисунке 2 приведён внешний вид разработанного макета лазерного локатора, в составе которого блок приёмной системы и блок управления и анализа объединены и представлены в виде блока обнаружения и распознавания.



Рисунок 2 – Общий вид разработанного макета лазерного локатора

Подробнее остановимся на оптической системе блока сканирования (рисунок 3). Данный блок включает в себя следующие оптические элементы: полигональное зеркало, качающееся и неподвижное зеркала [5]. Принцип действия данной оптической передающей системы прост: вращающееся полигональное зеркало обеспечивает перемещение лазерного пучка в горизонтальной плоскости сканируемой области, а качающееся зеркало, в свою очередь, изменяет координаты пучка в плоскости кадра в вертикальном направлении. Неподвижное зеркало необходимо для транспортировки излучения от полигонального зеркала до качающегося зеркала. Компоновка передающего блока разработанного макета лазерного локатора приведена на рисунке 3.

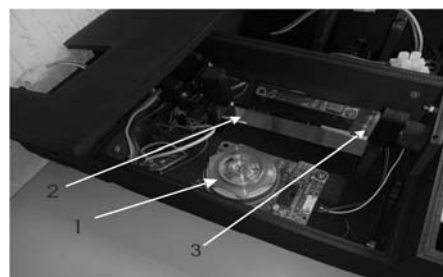


Рисунок 3 – Компоновка оптических элементов в блоке передающей системы:

1 – полигональное зеркало; *2* – неподвижное зеркало; *3* – качающееся зеркало

Рассмотрим алгоритм работы описываемого макета лазерного локатора. После включения устройства кнопкой питания блок управления и анализа начинает загрузку операционной системы и запускает рабочую программу. В это время на контроллерах передающего блока и блока слежения запускаются подпрограммы работы блоков, а блок излучателя включает лазер. После запуска и теста матричного фотоприёмника, блок управления и анализа даёт команду на старт работы блока сканирования и дальномера. В итоге, блок управления начинает цикл сканирования пространства и посылает информацию о координатах отслеживаемого объекта на элемент управления блока слежения, который, в свою очередь, координирует положение приемопередающей апертуры дальномера посредством поворота сервоприводов и отправляет данные о дальности до объекта обратно на блок управления и анализа.

Выводы. Разработанный макет лазерного локатора позволяет производить сканирование пространства и обнаружение объекта малого размера с последующим слежением за ним. В конструкцию локатора, как было сказано ранее, в отличие от классических схем, был внесён блок слежения. Макет локатора может использоваться как самостоятельная установка или элемент более крупной системы для обнаружения и слежения за малыми

объектами, а также для отработки различных программных алгоритмов сканирования.

Работа выполнена в рамках темы НИР Удм-ФИЦ УрО РАН «Искусственный интеллект в разработке, обучении и сопровождении экспертных систем представления и использования знаний в естественно-научных, технических и социогуманитарных направлениях» АААА-А19-119092690104-4.

Литература

1. Калугин А.И., Зарипов М.Р., Антонов Е.А. Лазерная локационная система обнаружения и распознавания малоразмерных объектов // Интеллектуальные системы в производстве. – 2020. – Т. 18, № 1. – С. 9–14.
2. Грязнов Н.А., Панталеев С.М., Иванов А.Е., Кочкарев Д.А., Куликов Д.С. Высокопроизводительный метод измерений координат объектов в условиях космического пространства // Научно-технические ведомости СПбПУ. – 2013. – Т. 2. – С. 197–202.
3. Медведев Е.М., Данилин И.М., Мельников С.Р. Лазерная локация земли и леса: Учебное пособие. – М.: Геолидар, Геокосмос, 2007. – 230 с.
4. Козинцев В.И., Белов М.Л., Орлов В.М. Основы импульсной лазерной локации. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 571 с.
5. Handbook of Optical and Laser Scanning, Second Edition [Книга] / Gerald F. Marshall, Glenn E. Stutz. – Нью-Йорк : Marcel Dekker publishing, 2004. p. 291.

УДК 621.372.821.1

ЛАЗЕРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В ВОЛНОВОДНОМ РЕЖИМЕ НА МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ СЛОЕ ДВОЙНОГО КАЛИЕВОГО ВОЛЬФРАМАТА С ИОНАМИ ГОЛЬМИЯ

Дернович О.П.¹, Гусакова Н.В.¹, Ясюкевич А.С.¹, Кисель В.Э.¹,
Кравцов А.В.², Колесова И.М.², Гурецкий С.А.², Кулешов Н.В.¹

¹НИЦ Оптических материалов и технологий БНТУ

Минск, Республика Беларусь

²ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению»

Минск, Республика Беларусь

Твердотельные лазеры, в которых распространение излучения в активной среде ограничено в одном или двух направлениях в пределах размеров, сравнимых с длиной волны излучения, называются волноводными. Базовая структура диэлектрического волновода состоит из вытянутой в продольном направлении оптической среды с высоким показателем преломления, которая окружена средой или средами с более низкими показателями преломления, называемыми подложкой и оболочкой. Ограничение и направление излучения в активном слое осуществляется за счет эффекта полного внутреннего отражения.

Волноводные лазеры сочетают в себе преимущества как волоконных, так и объемно-кристаллических лазеров. Они характеризуются высокой пространственной согласованностью мод резонатора и накачки, отличаются высокими

коэффициентами усиления, имеют низкий порог генерации вследствие высокой плотности инверсии населенностей при сравнительно низких мощностях возбуждения, и могут использоваться вместе с другими оптическими компонентами в составе современных интегральных оптических систем [1, 2].

Для создания волноводных лазеров активно применяются монокристаллические слои калий-редкоземельных вольфраматов $K\text{Re}(\text{WO}_4)_2$ ($\text{Re}=\text{Y}, \text{Gd}, \text{Lu}$) [3–5]. Активация их ионами гольмия Ho^{3+} позволяет получить лазерную генерацию в спектральной области двух микрометров. Источники этого спектрального диапазона требуются для дистанционного зондирования земли, медицинских применений, обработки материалов, а также используются в качестве источника возбуждения оптических параметрических генераторов [6–8]. Для возбуждения гольмие-