

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 объемнокристаллических 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-

вых сред подходящим является метод резонансной накачки тулиевым лазером, генерирующим в спектральной области около 1,95 мкм. В этом случае наблюдается низкая вероятность апконверсионных процессов и малые стоксовые потери, т. к. длина волны генерации близка к длине волны возбуждения.

В данной работе исследуется монокристаллический слой калиевого вольфрамата сложного состава, легированный трехвалентными ионами гольмия, для применения его в качестве активного элемента волноводного лазера в условиях резонансной лазерной накачки.

Для расчета химического состава монокристаллического слоя $\text{KGd}_x\text{Yb}_y\text{Y}_{(1-x-y)}(\text{WO}_4)_2$, легированного ионами Ho^{3+} , обеспечивающего необходимый контраст показателей преломления и согласование кристаллической структуры слоя и подложки, использовалась разработанная математическая модель, позволяющая рассчитывать параметры кристаллической ячейки и показатель преломления слоя $\text{KGd}_x\text{Yb}_y\text{Y}_{(1-x-y)}(\text{WO}_4)_2$ при различном соотношении ионов Gd^{3+} и Yb^{3+} .

Рост монокристаллического слоя калий-иттриевого вольфрамата, солегированного оптически инертными ионами гадолиния и иттербия (в условиях резонансной накачки) и активным ионом гольмия, производился методом жидкофазной эпитаксии на подложке кристалла $\text{KY}(\text{WO}_4)_2$, которая имела поперечные размеры 10×10 мм и толщину в направлении кристаллографической оси b 2 мм. Процесс кристаллизации в методе жидкофазной эпитаксии осуществляется за счёт пересыщения раствора-расплава вблизи границы раздела в центральной приповерхностной зоне. Рост производился при температуре $900\text{--}920$ °С и скорости вращения подложки $30\text{--}40$ оборотов в минуту. Раствор-расплав нагревался в тигле выше температур насыщения на $30\text{--}50$ ° и проводилась гомогенизация в течение 12 часов. Далее температура опускалась до температуры на $1,5\text{--}2,5$ °С ниже температуры насыщения и проводился рост плёнки в течение времени сообразно заданной толщины.

Полученный образец был вырезан вдоль осей оптической индикатрисы кристалла N_m и N_g и отполирован до толщины слоя 40 мкм (вдоль кристаллографической оси b , которая совпадает с осью оптической индикатрисы N_p). Фотография торца слоя с увеличением 100 крат, сделанная через микроскоп Полам РП-1 (ЛОМО) с помощью CCD камеры, представлена на рисунке 1. Выращенный слой имел высокое оптическое качество.

Концентрация ионов гольмия, оцененная сравнением спектров поглощения монокристаллического слоя и объемного кристалла известной концентрации, составила 4,8 ат. %.



Рисунок 1 – Фотография монокристаллического слоя, активированного ионами гольмия, выращенного на кристалле $\text{KY}(\text{WO}_4)_2$

Для исследования генерационных свойств была собрана экспериментальная установка с резонансной лазерной накачкой (рисунок 2). В качестве источника накачки использовался лазер на основе кристалла $\text{Tm:KLu}(\text{WO}_4)_2$ максимальной мощностью 500 мВт с возможностью перестройки длины волны генерации, что позволило согласовать длину волны генерации с пиком поглощения ионов гольмия на длине волны 1960 нм.

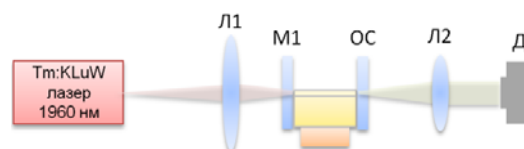


Рисунок 2 – Схема лазерной экспериментальной установки для исследования генерационных характеристик:

$Л1$ – фокусирующая линза; $М1$ – входное зеркало; $ОС$ – выходное зеркало; $Л2$ – коллимирующая линза; $Д$ – детектор

Фокусирующая линза с фокусным расстоянием 40 мм обеспечивала радиус перетяжки моды накачки 30 мкм. Распределение излучения накачки на выходном торце волновода приведено на рисунке 3.

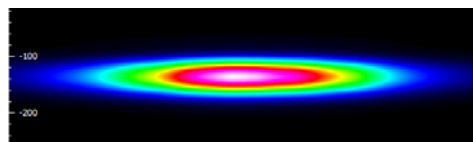


Рисунок 3 – Распространение излучения накачки – увеличенное изображение выходного торца монокристаллического слоя,

Резонатор лазера был образован плоскими зеркалами, которые подводились к торцам образца с зазором меньше 0,5 мм. Входное зеркало $М1$ характеризовалось высоким коэффициентом пропускания на длине волны 1960 нм и высоким коэффициентом отражения для диапазона длин волн свыше 2000 нм. Активный элемент был вырезан вдоль оси оптической индикатрисы N_g длиной 8 мм и помещен на медный теплоотвод без системы активного охлаждения. Излучение накачки было поляризовано параллельно оси оптической индикатрисы активного кристалла N_m .

Лазерная генерация была получена с выходными зеркалами различного пропускания на длине волны генерации: 4 %, 7 %, 14 %. Выходные характеристики лазера представлены на рисунке 4. Длина волны генерации находилась в области 2 055 нм для всех значений пропускания зеркал, ширина спектра на полувывоте $2 \pm 0,1$ нм. Максимальная выходная мощность была достигнута с пропусканием выходного зеркала 7 % и составила 16 мВт. Излучение было поляризовано вдоль оси оптической индикатрисы N_m . Дифференциальная эффективность по падающей мощности накачки составила 18 %. Порог генерации достигался при мощности накачки менее 200 мВт.

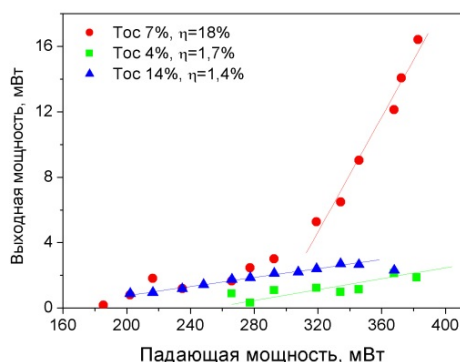


Рисунок 4 – Выходные характеристики лазера на основе монокристаллического слоя $\text{Ho:KGd}_{0,12}\text{Yb}_{0,13}\text{Y}_{0,72}(\text{WO}_4)_2$, выращенного на подложке $\text{KY}(\text{WO}_4)_2$

Таким образом, на монокристаллическом слое $\text{Ho}(4,8 \text{ ат. \%})\text{:KGd}_{0,12}\text{Yb}_{0,13}\text{Y}_{0,72}(\text{WO}_4)_2$ толщиной 40 мкм, выращенном методом жидкофазной эпитаксии, получена генерация в волноводном режиме при резонансной лазерной накачке.

Литература

1. Grivas C. Optically pumped planar waveguide lasers, Part I: Fundamentals and fabrication techniques / C. Grivas // Progress in Quantum Electronics. – 2011. – Vol. 35. – P. 159–239.
2. J.I. Mackenzie J.I. Dielectric Solid-State Planar Waveguide Lasers: A Review / J.I. Mackenzie // IEEE Journal of selected topics in Quantum Electronics. – 2007. – Vol. 13, No. 3. – P. 626–637.
3. Double Tungstate Lasers: From Bulk Toward On-Chip Integrated Waveguide Devices / M. Pollnau [et.al.] // IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. – 2007. – Vol. 13, No. 3. – P. 661–671.
4. Tm:KY(WO₄)₂ waveguide laser / S. Rivier [et.al.] // Optics express. – 2007. – Vol. 15, No. 9. – P. 5885–5892.
5. Yb-doped KY(WO₄)₂ planar waveguide laser / Y.E. Romanyuk [et.al.] // Optics letters. – 2006. – Vol. 31, No. 1. – P. 53–55.
6. Sorokina I.T. Solid-State Mid-Infrared Laser Sources / I.T. Sorokina, K.L. Vodopyanov. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2003. – P. 558.
7. Godart A. Infrared (2–12 μm) solid-state laser sources: a review / A. Godard // Comptes Rendus Physique. – 2007. – Vol. 8. – P. 1100–1128.
8. Walsh B.M. Review of Tm and Ho Materials; Spectroscopy and Lasers / B. M. Walsh // Laser Physics. – 2009. – Vol. 19, No. 4. – Pp. 855–866.

УДК 528.854

МАКЕТ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ВИДЕНИЯ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМ Ефимова У.А.¹, Шаранова Г.М.¹, Антонов Е.А.², Калугин А.И.², Зарипов М.Р.²

¹Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова
Ижевск, Российская Федерация

²Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН
Ижевск, Российская Федерация

Вопрос обнаружения объектов в режиме реального времени стоит довольно остро. Иногда крайне необходимо своевременно обнаружить утечку газа, нефтепродуктов или ядовитых химических веществ, обледенение линий электропередач, пропавшего человека в лесной чаще, птиц или беспилотные летательные аппараты в зонах взлетно-посадочной полосы аэропорта и др. Одним из наиболее эффективных методов решения данной проблемы является применение мультиспектральных систем видения (МСВ). МСВ работает в разных диапазонах длин волн одновременно, создавая массив изображений [1]. Каждый пиксель такого массива представляет спектральную характеристику отражательной способности объекта. То есть с помощью мультиспектральной съемки можно обнаружить объект, определить его форму, а также материал.

Авторами был разработан и изготовлен макет МСВ, который обеспечивает выполнение съемки на пяти длинах волн: 532, 612, 780, 850 и 940 нм. На рисунке 1 представлена функциональная схема установки, которая имеет несколько блоков: блок светофильтров, приемную систему, блок перемещения, устройство управления, блок питания.

Светофильтры обеспечивают выделение принимаемого от объекта излучения на центральных длинах волн 532, 612, 780, 850, 940 нм и со спектральными диапазонами пропускания 15, 19, 15, 19, 18 нм соответственно.

Светофильтры обеспечивают выделение принимаемого от объекта излучения на центральных длинах волн 532, 612, 780, 850, 940 нм и со спектральными диапазонами пропускания 15, 19, 15, 19, 18 нм соответственно.

В состав приемной системы включены камера Raspberry Pi NoIR Camera v2 и контрольный фо-