

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 полувысоте $2 \pm 0,1$ 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.

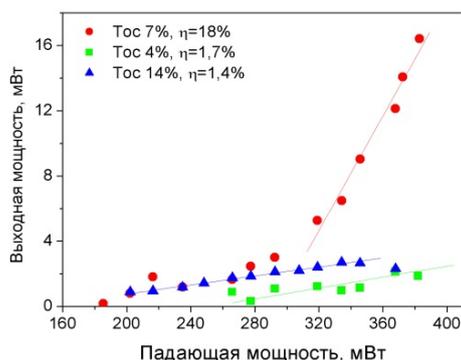


Рисунок 4 – Выходные характеристики лазера на основе монокристаллического слоя $\text{Ho:KGd}_{0,12}\text{Yb}_{0,13}\text{Y}_{0,72}(\text{WO}_4)_2$, выращенного на подложке $\text{KY}(\text{WO}_4)_2$

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. Калашиникова
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.

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

топриемник. Камера осуществляет регистрацию изображения. С помощью контрольного фотоприемника производится измерение интенсивности излучения, поступающего на камеру через светофильтр.

Задачей блока перемещения является обеспечение смены светофильтров, установленных перед входной апертурой приемной системы.

В качестве устройства управления используется микрокомпьютер Raspberry Pi 3. Он задает угол поворота серводвигателя блока перемещения и устанавливает требуемый светофильтр. Далее производится съемка камерой, данные с которой поступают в блок управления, обрабатываются и сохраняются в файл. Процедура повторяется для каждого светофильтра.

Блок питания обеспечивает подачу рабочего напряжения на серводвигатель и микрокомпьютер.



Рисунок 1 – Функциональная схема макета МСВ

В результате работы макета создается набор файлов с монохромными изображениями, которые подлежат анализу с целью обнаружения и распознавания различных объектов. Примеры полученных изображений представлены на рисунке 2. На рисунке 2, *a* выделены три объекта: 1 – кора дерева, 2 – пластиковый шар (слева – 2а, справа 2б), 3 – листва дерева. Каждый из объектов имеет свой уникальный спектр отражения, поэтому на различных длинах волн интенсивность пикселей у каждого из объектов будет отличаться. Зависимость интенсивности этих объектов от длины волны показана на рисунке 3.

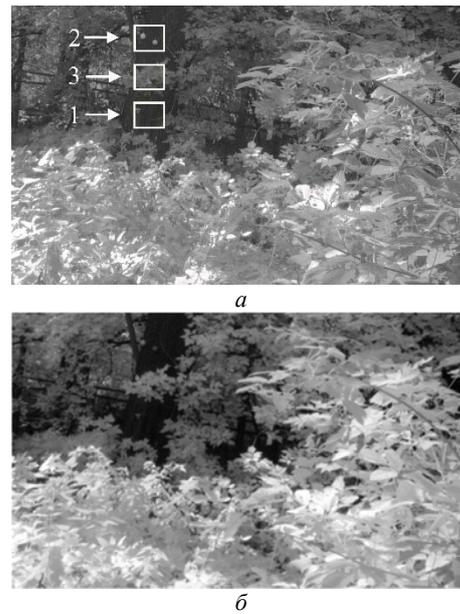


Рисунок 2 – Результаты съемки МСВ на длинах волн 532 (*a*) и 780 (*б*) нм

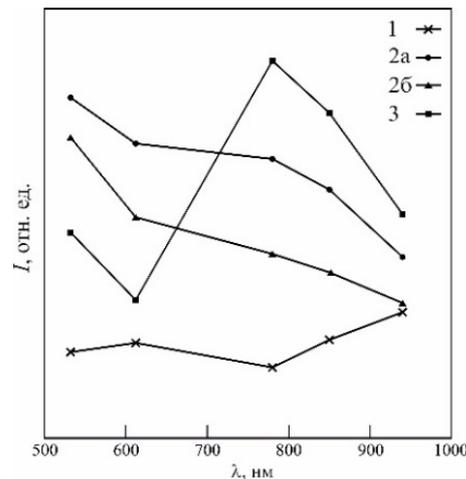


Рисунок 3 – Зависимость интенсивности изображения выделенных объектов от длины волны:

1 – кора дерева; 2а – левый шар; 2б – правый шар; 3 – листва дерева

Таким образом, с помощью мультиспектральной съемки пространственная информация об объекте дополняется спектральной характеристикой объекта. В дальнейшем, полученные изображения объектов анализируются с использованием нейронных сетей, что позволяет не только выделить все возможные объекты на изображении и идентифицировать их, но также выявить ранее не встречавшиеся при съемке материалы. При этом нейросеть оказывается весьма простой по сравнению с традиционными нейросетями распознавания объектов по изображениям.

Данный макет не позволяет производить съемку на всех длинах волн одновременно. В то же время, барабанное расположение светофильтров

на диске позволяет увеличивать их количество без применения дополнительных камер и фотоприемников. Увеличением количества светофильтров можно повысить точность идентификации объектов при мульти-спектральной съемке. Макет позволяет собрать информацию о мультиспектральных изображениях разных объектов, которую можно применить для обучения нейросетей. Основные принципы работы данного макета, а также

внедрение нейронных сетей для анализа мультиспектрального изображения лягут в основу создания авторами быстродействующей системы мультиспектрального видения.

Литература

1. Гиперспектральное дистанционное зондирование в геологическом картировании / под ред. Г.Г. Райкунова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 136 с.

УДК 681.785

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИСТОЧНИКА НА ЗЕРКАЛЬНО-ПРИЗМЕННОЙ ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ

Зарипов М.Р.¹, Алексеев В.А.²

¹Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук
Ижевск, Российская Федерация

²Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашикова
Ижевск, Российская Федерация

Увеличение эффективности и расширение области применения автономных лазерных систем специального назначения, в частности, медицинских лазерных установок, лазерных систем связи как беспроводной, так и волоконно-оптической, мобильных систем дистанционного лазерного зондирования подразумевает повышение выходной мощности и выходной энергии импульса лазерного излучения.

Таким образом, возникает проблема повышения выходной мощности лазерных источников без увеличения энергии внешнего источника электропитания, без включения в систему дополнительных источников лазерного излучения или без использования оптических усилителей.

Задача повышения выходной мощности наиболее актуальна для систем, построенных на основе импульсных лазерных источников, пиковая мощность импульса излучения которых определяет такие основные характеристики системы, как степень воздействия лазерного излучения на исследуемый объект и дальность распространения лазерного излучения в различных средах.

К настоящему времени отмеченная задача может быть решена за счет применения методов компрессии лазерных импульсов [1], оптических усилителей [2], а также различных способов некогерентного [3] и когерентного [4] суммирования лазерных пучков. Однако данные схемные решения связаны с необходимостью увеличения числа лазерных источников, повышения энергии от внешнего источника питания, а также с ухудшением массогабаритных характеристик разрабатываемых лазерных изделий, что отрицательно сказывается на их автономности.

Таких недостатков можно избежать за счет применения способов синхронного суммирования лазерных импульсов [5, 6], так как они пред-

полагают использование в составе своих схем одного лазерного источника и не требуют наращивания энергии внешнего питания. Тем не менее, устройства синхронного суммирования лазерных импульсов, описанные в работах [5, 6], выполнены на основе волоконно-оптических линий задержки. Очевидно, что такое построение данных систем приводит к необходимости строгого подбора применяемых в них лазерных источников, длина волны λ которых должна лежать в пределах окон прозрачности кварцевого стекла 0,85, 1,3 и 1,55 мкм волоконных световодов.

Однако применение лазерных источников в системах специального назначения ограничено не только ближним инфракрасным диапазоном. Использование устройств синхронного суммирования лазерных импульсов в подобных системах позволит повысить их быстродействие и эффективность, а также расширить пределы их применения. Таким образом, возникает задача разработки способа, обеспечивающего увеличение выходной мощности лазерных источников в широкой спектральной области оптического диапазона.

Авторами настоящего сообщения для решения поставленной задачи предлагается рассмотреть возможность применения схемы с кольцевой зеркально-призменной линией задержки, которая обеспечивает синхронное суммирование лазерных пучков за счет их полного внутреннего отражения в ней (рисунок 1).

Данная система является модификацией устройства с кольцевой волоконно-оптической линией задержки, предложенного ранее авторами в [6]. Поэтому ее действие также заключается в последовательном наложении импульсов лазерного излучения, поступающих на вход оптической системы, друг на друга синхронно и пространственно. То есть должно обеспечиваться наложение начала импульса, поступившего на