

За один час полета прибором МКСС-1, установленном на платформе самолета Diamond DA40NG, было получено 5 463 изображения подстилающей поверхности при помощи камеры Baumer, 13 090 изображений подстилающей поверхности при помощи обзорной RGB камеры, 5 469 спектров подстилающей поверхности в диапазоне 400–900 нм и 7 204 мультиспектральные фотографии при помощи камеры Parrot Sequioia.

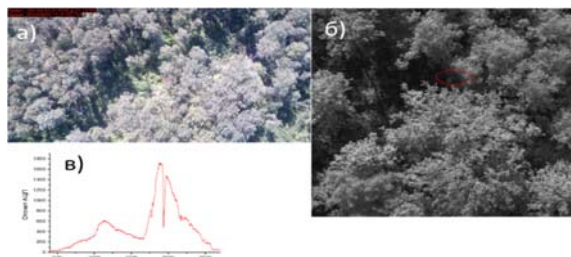


Рисунок 3 – Фото-спектральные данные, получаемые при помощи прибора МКСС-1:

*a* – изображение обзорной камеры; *б* – изображение черно-белой камеры с повышенным разрешением; *в* – спектр, полученный из области, очерченной красным

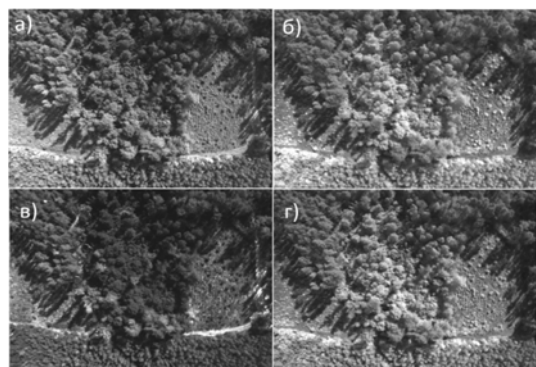


Рисунок 4 – Пример изображений, получаемых с мультиспектральной камеры Parrot Sequioia, входящей в состав прибора МКСС-1:

*a* – 550 нм ± 20 нм; *б* – 790 нм ± 20 нм; *в* – 660 нм ± 20 нм; *г* – 735 нм ± 5 нм;

На рисунках 3 и 4 представлены пример многоканальных фото-спектральных данных, получаемых при помощи МКСС-1.

Спектральные данные, привязанные к зарегистрированным изображениям, использовались в качестве исходных данных для создания классификатора, при помощи которого осуществлялось разделение исследуемых хвойных древостоев на три класса: здоровые, под воздействием стресса и усохшие. На основании изображений мультиспектральной камеры, с учетом спектральной характеристики отдельных каналов производился поиск характеристических индексов, которые успешно использовались для решения задачи классификации хвойных древостоев.

Разработанный мультисканальный спектральный сенсор МКСС-1 показал относительно устойчивую работу в условиях полета. При этом стоит отметить направления для будущей модернизации с целью повышения качества получаемых данных:

1. Замена черно-белой камеры на цветную более высокого разрешения ( $> 4$  Мп).
2. Интегрирование в систему специально подобранных светофильтров, с учетом особенностей исследуемого объекта.
3. Дополнение системы инклинометрами с целью контроля геометрии визирования.

#### Литература

1. Станчик В.В., Хомицевич А.Д. Фотоспектрорадиометр для полевых измерений спектров отражения объектов // Материалы IV межд. науч.-практ. конф. «Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния». – Минск, 2017. – С. 145–147.
2. Baumer [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.baumer.com/de/en/product-overview/industrial-cameras-image-processing/industrial-cameras/mx-series/c/14050>. – Date of access: 08.10.2020.
3. Parrot Sequioia [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.parrot.com/en/shop/accessories-spare-parts/other-drones/sequoia>. – Date of access: 08.10.2020.

УДК 535.8 + 621.382

#### ПИКОСЕКУНДНЫЕ ДИОДНЫЕ ЛАЗЕРЫ ДЛЯ ФЛУОРОМЕТРИИ

Воропай Е.С.<sup>1</sup>, Ермалицкая К.Ф.<sup>1</sup>, Ермалицкий Ф.А.<sup>1</sup>, Луценко Е.В.<sup>2</sup>, Радько А.Е.<sup>3</sup>, Ржецкий Н.В.<sup>2</sup>, Самцов М.П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Институт физики НАН Беларуси  
Минск, Республика Беларусь

<sup>3</sup>Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко БГУ  
Минск, Республика Беларусь

Импульсные источники света с короткой длительностью импульса применяются в различных областях науки и технологий. Одной из важных таких областей является кинетическая спектрофлуориметрия, широко используемая при изуче-

нии сложных молекулярных систем. Основываясь на достоверных сведениях об этих параметрах, а также характере их зависимости от различных влияющих факторов, можно получать обширную информацию о структуре и свойствах

как природных, так и синтетических образований. До недавнего времени в ряде спектрофлуориметров использовались газоразрядные импульсные лампы длительностью импульсов по полувысоте около 1 нс и рабочими частотами порядка 20–30 кГц. Существенным недостатком данных ламп является использование высоковольтного питающего напряжения 3–5 кВ.

Повсеместный переход от газоразрядных приборов к полупроводниковым происходит и в спектрофлуориметрии. К тому же частоты следования импульсов диодных лазеров лежат в диапазоне десятков мегагерц, что позволяет резко уменьшить время накопления кривых затухания, а также повысить статистическую точность измерений параметров высвечивания за счет большего числа отсчетов.

Следует отметить, что пикосекундные диодные лазеры могут быть использованы не только во флуориметрии но и в других областях импульсной спектрометрии и дальнометрии – в качестве зондирующих излучателей.

Основными достоинствами данных источников света являются компактность, малая потребляемая мощность и высокая частота следования импульсов. Излучателями в данных лазерах могут служить доступные и недорогие серийные лазерные диоды фирм SONY, SONYO, FUJI, SHARP, которые штатно используются при постоянной накачке или в режиме импульсной или гармонической модуляции. Самое распространенное применение данных лазерных диодов – оптические носители информации, запись на которых производится диодными лазерами синевioletового диапазона – стандарт Blu-Ray (в отличие от инфракрасных лазеров в случае DVD) Цена же специализированных пикосекундных диодных лазеров, предлагаемых ведущими мировыми производителями AlphaLas, PicoQuant, PicoLas, PiLas, Hariba, достаточно высока – превышает 10 000 Евро [1, 2].

Разработанные нами диодные лазеры состоят из блока оптического излучателя и внешнего блока питания (рисунок 1).



Рисунок 1 – Внешний вид диодных лазеров в различных металлических корпусах

Приборы достаточно компактны и технологичны из-за низких уровней питания (12 В) и

потребляемой мощности (3 Вт). Высокая частота следования импульсов – до 80 МГц – позволяет сократить время измерений, что особенно актуально для таких новых медико-биологических применений как FLIM-методы [3].

Блок оптического излучателя лазера включает в себя задающий кварцевый генератор на базе микроконтроллера, цепь синхронизации, низковольтный формирователь субнаносекундных электрических импульсов, цепь накачки диодов на базе подстраиваемого источника постоянного тока и светоизлучатель – лазерный диод. Предусмотрена возможность термостабилизации выходного каскада цепи накачки и лазерного диода. Данный блок может также использоваться для накачки более медленных суб- и наносекундных светодиодов [4].

Задающий кварцевый генератор с базовой частотой 40 (или 80) МГц управляется микроконтроллером, который обеспечивает ступенчато регулируемые кварцованные частоты следования сигналов в диапазоне 0–40 МГц. Наличие многочастотного режима позволяет в случае флуориметрии легко сочетать измерительные режимы прямой и обращенной шкал.

Специальная цепь формирует импульсы синхронизации для используемых устройств регистрации. Она дает возможность при необходимости вводить дополнительную задержку светового сигнала относительно импульса синхронизации. Цепь синхронизации позволяет работать с внешними управляющими сигналами с частотой до 10 МГц.

Низковольтный формирователь вырабатывает наносекундный перепад напряжения около 12 В, который цепью дифференцирования преобразуется в импульс напряжения длительностью менее 1 нс. После инвертирования данный импульс через эмиттерный повторитель поступает непосредственно на лазерный диод. Для оптимизации режима работы лазерных диодов имеется регулируемый источник постоянного тока.

Задание параметров излучаемых световых импульсов – длительности и световой мощности – для каждого диода обеспечивается подбором тока накачки и напряжения смещения. Реализация режима генерации одиночных импульсов достигается для лазерных диодов в надпороговом режиме. При достаточном превышении порога генерации эмиттируются цуги импульсов, которые при дальнейшем увеличении тока накачки сливаются в широкий моноимпульс длительностью 1–1,2 нс. Для каждого типа лазерных диодов порог генерации достаточно индивидуален и поэтому исследователям для каждой длины волны необходимо иметь свой диодный лазер. Применение низковольтного 12-вольтового формирователя субнаносекундных электрических импульсов, как и в работе [4], позволяет избежать тех-

нологических неудобств высоковольтных 120–200 В формирователей на лавинных транзисторах [5, 6]. Это особенно важно для приборов, предназначенных для работы в полевых условиях.

Наружный сетевой блок-адаптер 220 В/12 В × 0,25 А (обычно, промышленного производства) обеспечивает излучатель необходимым напряжением питания 12 В.

**Технические характеристики реализованных пикосекундных диодных лазеров:** На базе серийных лазерных диодов фирм Sony и Fuji были созданы диодные лазеры с длинами волн излучения от 405 до 808 нм.

В режиме генерации пикосекундных импульсов реализованы следующие длительности лазерных импульсов на полувысоте для ряда длин волн: 405 нм – 70 пс (рисунок 2); 520 нм – 130 пс; 650 нм – 90 пс; 780 нм – 180 пс.

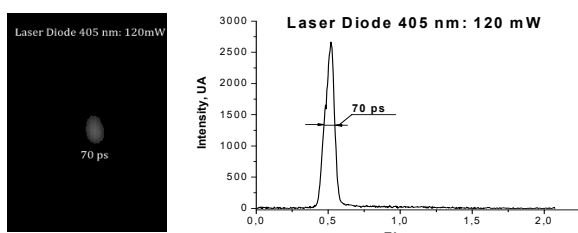


Рисунок 2 – Временной профиль излучения диодного лазера на базе лазерного диода Sony SLD 3236VF (длина волны 405 нм и номинальная паспортная мощность 120 мВт). измеренный стрик-камерой Hamamatsu C 4334

Длительность же излучаемых импульсов в режиме наносекундной генерации составляет 1–1,2 нс для всех использованных типов лазер-

ных диодов. Для временных измерений использовались как скоростная щелевая камера Hamamatsu C 4 334 (разрешение 25 пс), так и спектрометры времякоррелированного счета фотонов (разрешение 80 пс).

Достижимая средняя световая мощность – до 10 мВт.

Частоты следования световых импульсов: при внутреннем запуске 0–40 МГц; при внешнем – до 10 МГц.

Типичные размеры диодного лазера – 115×64×30 мм и 89×35×30 мм при габаритах электронной платы 60×30×20 мм.

Питание от серийного блока питания – 220 В/12 В × 0,25 А, потребляемая мощность 3 Вт. Масса 0.2 кг.

#### Литература

1. [www.picoquant.de](http://www.picoquant.de).
2. [www.alphalas.de](http://www.alphalas.de).
3. Беккер В., Желзов А., Чеславский В. Визуализация времени жизни флуоресценции с помощью многомерного TCSPC-метода: новые возможности в биомедицине. – Фотоника, 2015. – Т. 53, № 5. – С. 52–66.
4. Воробей Е.С., Ермалицкий Ф.А., Радько А.Е., Самцов М.П. Суб- и наносекундные диодные источники света. – Приборы и техника эксперимента, 2020. – № 1. – С. 151–152.
5. Uhring W., Zint C-V., Bartinger J. A low cost high repetition rate picosecond laser diode pulse generator. – Proc. SPIE, 2004, 5454, September, DOI 10.1117/12.545038, p. 583–590.
6. Binh P.H., Trong V.D., Renucci P., Marie X. A simple sub-nanosecond ultraviolet pulse generator with high repetition rate and peak power. – Rev.Sci.Instrum., 2013, v. 84, N 083102, p. 1.

УДК 577.345:615.831

#### КОЛЛИМИРУЮЩАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО МОДУЛЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 405 НМ

Вяжевич Г.И.<sup>1,2</sup>, Фёдорцев Р.В.<sup>1</sup>, Соснина Л.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>УП «Научно-технический центр ЛЭМТ», БелОМО  
Минск, Республика Беларусь

В данной работе представлены результаты проектирования зеркальной коллимирующей системы для лазерного модуля с длиной волны 405 нм, который предназначен для установки медицинский прибор терапевтического профиля, предназначенный для лечения (регенерации) внешних тканей растительного и животного происхождения. Представлено обоснование выбора составных компонентов и осуществлена общая компоновка изделия.

Прибор, в котором планируется использование лазерного модуля, портативный и предполагает ручное использование. В связи с этим применение

зеркальной коллимирующей системы в данной конструкции обусловлено рядом факторов:

- использование единственного оптического элемента для одновременного перенаправления и коллимации лазерного излучения;
- снижение массы и габаритных размеров прибора;
- эффективное распределение лазерного излучения по рабочей поверхности зеркала и отвод тепла;
- относительно малые потери по мощности лазерного излучения по сравнению с линзовыми системами [1];