

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.

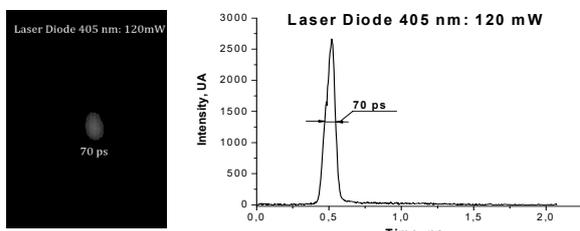


Рисунок 2 – Временной профиль излучения диодного лазера на базе лазерного диода Sony SLD 3236VF (длина волны 405 нм и номинальная паспортная мощность 120 мВт). измеренный стрик-камерой Hamamatsu C 4334

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];

– отсутствие присущих линзовым системам aberrаций;

– равномерное распределение интенсивности лазерного излучения по обрабатываемой поверхности.

Вариант общей компоновки прибора представлен на рисунке 1.

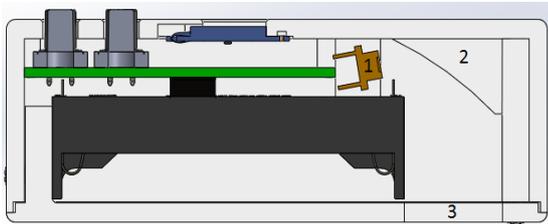


Рисунок 1 – 3D модель прибора (осевой разрез)

Как видно из рисунка, излучение от лазерного диода 1 поступает на зеркало 2, которое одновременно перенаправляет ход лучей в отверстие крышки (выходное окно 3) и в то же время обеспечивает необходимый размер пятна в рабочей области объекта.

Такая конфигурация излучателя обусловлена ограничениями во внутреннем пространстве корпуса прибора, а также позволяет использовать в оптической системе только одно зеркало, что снижает общую массу прибора и потери при контакте излучения с рабочей плоскостью оптической системы.

Для расчёта параметров зеркала необходимы следующие входные данные:

- размер излучающей зоны лазерного модуля;
- базовая расходимость излучения лазерного модуля;
- длина волны лазерного излучения;
- максимальная мощность лазерного излучения.

В качестве источника излучения был выбран лазерный диод модели SLD3134VR-31 мощностью 20 мВт и с пороговым током 26 мА (рисунок 2).

В качестве источника (точки) излучения служит выходное окно emitting point, диаметром 1,6 мм. Рабочая область модуля защищена от внешней среды стеклянной пластиной толщиной 0,25 мм, которая имеет просветляющее покрытие. Поэтому потерями на выходном окне модуля можно пренебречь.

Далее необходимо измерить угол расходимости лазерного излучения. Это необходимо для определения рабочей области коллимирующего зеркала для наиболее эффективного использования оптического излучения. В данной конструкции расчёт ведётся для линейного расстояния  $35 \pm 0,5$  мм от излучающей зоны до рабочей поверхности зеркала.

Так как параметр угла расходимости не является критически важным в данной конструкции и

может быть скорректирован впоследствии путем перемещения зеркала в пределах 1 мм, то для построения графика рассеивания излучения в зависимости от расстояния, был собран простейший испытательный стенд, схема которого изображена на рисунке 3.

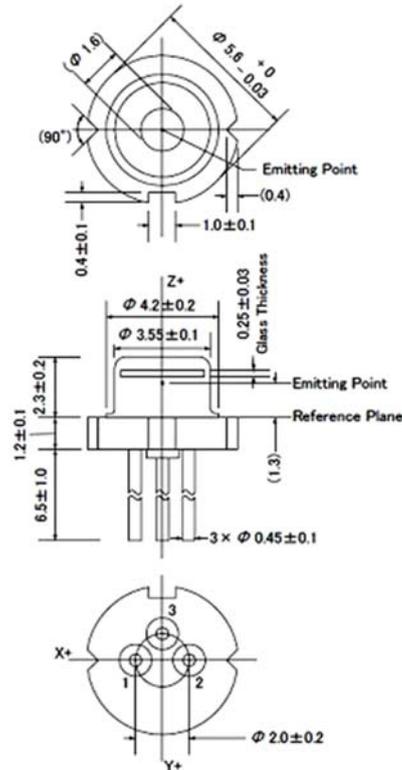


Рисунок 2 – Внешний вид и геометрические параметры лазерного диода

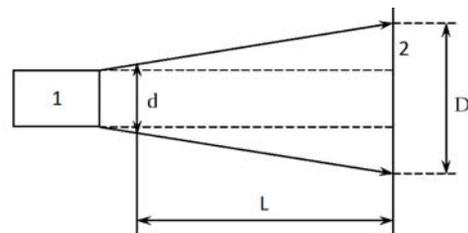


Рисунок 3 – Схема стенда для контроля расходимости лазерного излучения

Методика проведения измерения следующая: контролируемый лазерный диод фиксируется в оправке 1, затем на расстоянии в 5 мм от него располагается стойка с установленной на ней миллиметровой шкалой 2, которая обращена белой стороной к лазерному модулю, а измерительной стороной к наблюдателю. Мощность излучения лазера выставляется 20 %. С измерительной стороны миллиметровой бумаги фиксируется размер пятна с максимальной интенсивностью. Далее экран перемещается с шагом 5 мм до целевой величины линейного расстояния. Для снижения погрешности на каждом этапе измерений вычисляется угол расходимости, а результа-

том измерений является среднее арифметическое от углов расходимости  $\tau_{\text{ср}}$ . Угол расходимости может быть вычислен по следующей формуле:

$$\tau = 2 \left( \tan^{-1} \frac{D - d}{2L} \right),$$

где  $L$  – расстояние от плоскости экрана до плоскости излучателя, мм;  $D$  – диаметр сечения лазерного пучка на поверхности экрана, мм;  $d$  – диаметр сечения лазерного пучка на выходном окне лазерного диода, мм;  $\tau$  – угол расходимости лазерного излучения, градусов.

Диаметр сечения лазерного пучка на выходном окне примем за размер диафрагмы лазерного диода (1,2 мм). Таким образом, получены значения расходимости лазерного излучения (таблица 1).

Длина волны и максимальная мощность излучения лазерного модуля приведены в его документации и равны соответственно 405 нм и 50 мВт.

Для изготовления зеркала необходимо выбрать материал с максимальным коэффициентом отражения в рабочей области спектра излучения.

Из таблицы 1 [2] следует, что наибольшим коэффициентом отражения  $R$  в УФ области спектра, а именно в диапазоне длин волн  $\lambda = 380\text{--}436$  нм обладает алюминий. Таким образом, для снижения массы и повышения качества рабочей поверхности, следует изготавливать зеркало путём напыления его в вакууме на стеклянную подложку с заранее сформированным радиусом кривизны.

Таблица 1

Расстояние $L$ , мм	5	10	15	20	25	30	35	$\tau_{\text{ср}}$
Диаметр диафрагмы $d$ , мм	1,2							
Диаметр пучка $D$ , мм	10,5	19	27	35	44	53	61	
Угол расходимости $\tau$ , гр	81	83	82	81	81	82	81	81,6

По полученным данным проведено моделирование и вычисления оптической системы в программном пакете ZEMAX. Исходные параметры представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры для моделирования оптической системы в программе ZEMAX

Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	1.000000		0.000000
1	Standard		Infinity	0.000000		0.600861
2	Coord Break			8.000000	-	0.000000
STO	Standard		-80.000000	-50.000000	MIRROR	20.475269
IMA	Standard		Infinity			66.734629

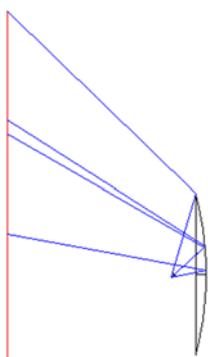


Рисунок 4 – Схема хода лучей

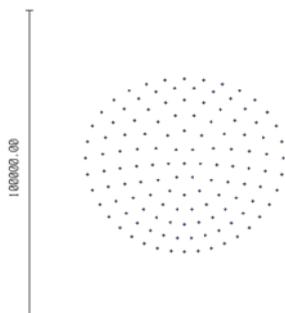


Рисунок 5 – График пятна рассеивания

На рисунке 4 представлен ход лучей в зеркальной оптической системе.

Получен график пятна рассеивания (рисунок 5) лазерного пучка на рабочем расстоянии в 50 мм.

В результате расчёта получены следующие необходимые параметры для изготовления зеркала:

- радиус кривизны поверхности –  $80 \pm 0,1$  мм;
- радиус рабочей поверхности зеркала  $21 \pm 1$  мм;
- материал стекла из которого изготавливается подложка зеркала БК7;
- материал отражающей поверхности алюминий;

Таким образом, было установлено, что в рабочей зоне излучателя на расстоянии 50 мм максимальная ширина пучка лазера равна  $56 \pm 1$  мм, а потери при отражении составляют не более 3 % [2].

#### Литература

1. Павлов А.В. Оптико-электронные приборы. – Москва: Машиностроение, 1974. – 124 с.
2. Губанова Л.А. Оптические покрытия. – Санкт-Петербург, 2003. – 18 с.