

Литература

1. Ельяшевич, М. А. Атомная и молекулярная спектроскопия. – М. : Физматгиз, 1962. – 892 с.

2. Физическая энциклопедия. Т. 1. / гл. ред. А. М. Прохоров. – Москва, Советская энциклопедия, 1988. – 507 с.

3. Эйнштейн, А. Собрание научных трудов. Т. 3. – М. : Наука, 1966. – 632 с.

УДК 621.373.826

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗОНАТОРОВ ДЛЯ ИЗЛУЧАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛА Nd:YAG С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

Орехова В.Е.¹, Кисель В.Э.², Орехов К.А.¹

¹ОАО «Пеленг»

²Научно-исследовательский центр оптических материалов и технологий БНТУ
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Проведено сравнение результатов экспериментального моделирования выходных параметров для нескольких вариантов резонаторов лазерного излучателя на основе кристалла Nd:YAG с диодной накачкой для применения в системах измерения дальности. Разработан компактный квантрон. Проведен расчет его профиля распределения и эффективности накачки для различных рабочих температур. В результате экспериментального моделирования схем резонатора с разработанным квантроном показано, что на основе разработанной компактной системы накачки возможна генерация моноимпульсов лазерного излучения в режиме активной модуляции добротности с энергией от 70 мДж и расходимостью до 1,7 мрад для частоты следования до 20 Гц.

Ключевые слова: поперечная диодная накачка, Nd:YAG, расходимость.

EXPERIMENTAL STUDY OF A DIODE-PUMPED Nd:YAG LASER

Orekhova V.¹, Kisel V.², Orekhov K.¹

¹JSC «Peleng»

²Optical Materials and Technology Research Center of BNTU
Minsk, Belarus

Abstract. The comparative experimental simulation of the output parameters for several types of diode-pumped Nd:YAG laser resonators for rangefinding were performed. A compact pump chamber is developed. A pump radiation distribution profiles and pumping efficiencies of the developed pump chamber were calculated for different operating temperatures. Experimental simulation of resonators design using the developed pump chamber was carried out. It was shown that laser based on the developed compact pump chamber can generate over 77 mJ pulses in Q-Switched mode with 1.7 mrad output beam divergence and pulse repetition rates up to 20 Hz.

Key words: transverse diode pumping, Nd:YAG, beam divergence.

*Адрес для переписки: Орехова В.Е., ул. Макаёнка, 25, г. Минск 220114, Республика Беларусь
e-mail: vikawatutsina@gmail.com*

Была разработана оптическая схема твердотельного лазерного излучателя для импульсного дальномера, применяемого для определения расстояний до удаленных объектов. Основные требования, предъявляемые к разрабатываемому излучателю, следующие:

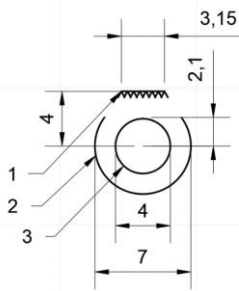
- энергия не менее 70 мДж;
- расходимость до 2 мрад;
- габариты корпусированного изделия не более 300×130×170 мм³;
- диапазон рабочих температур 0–+60 °С;
- устойчивость к вибрациям;
- способность работать в диапазоне частот следования импульсов от 0 до 20 Гц.

Основными критериями при разработке квантрона для обеспечения требуемой энергии импульса являлись высокий КПД, компактные размеры и эффективный отвод тепла от лазерного кристалла и матриц лазерных диодов. Отвод

тепла, возникающего во время работы в результате поглощения кристаллом излучения накачки, необходим для ослабления негативного влияния формирующейся динамической термолинзы, изменяющей модовый состав излучения, из-за чего ухудшается его пространственное качество и понижается выходная энергия [1]. Также предъявляются требования к равномерности профиля поглощения излучения накачки, обусловленные необходимостью избежания «горячих точек» [2] в кристалле, повышающих риск возникновения повреждений в резонаторе.

Была разработана односторонняя система накачки цилиндрического активного элемента диаметром 4 мм с относительной концентрацией ионов неодима 0,9 % и матированной боковой поверхностью, приведенная на рис. 1. Накачка обеспечивается тремя матрицами лазерных диодов с пиковой мощностью до 800 Вт расходимо-

стью 38° вдоль быстрой оси каждая. Каждая матрица имеет 8 линеек с, расположенных с шагом 0,38 мм вдоль боковой поверхности активного элемента. Цилиндрический отражатель имеет коэффициент диффузного отражения более 94 %.



1 – Матрицы лазерных диодов,
2 – Цилиндрический диффузный отражатель,
3 – Цилиндрический активный элемент

Рисунок 1 – Схема накачки

Результаты моделирования профиля распределения и эффективности поглощения излучения, полученные методом трассировки лучей с использованием ПО Zemax для различных температур, представлены на рис. 2 и в табл. 1 соответственно. Отвод тепла от лазерного кристалла при работе в цикле обеспечивается за счет контакта боковой поверхности кристалла, не используемой для накачки, с алюминиевым теплоотводом через слой индия толщиной 0,5 мм шириной 8 мм с обеих сторон активного элемента.

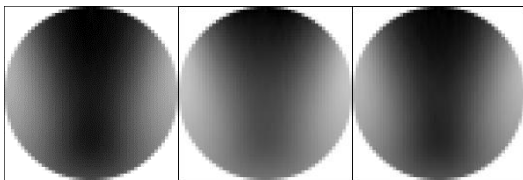


Рисунок 2 – Результаты численного моделирования профиля поглощения накачки для длин волн 804 нм (слева), 809 нм (середина), 811 нм (справа). Темным цветом выделены области наибольшего поглощения накачки, градации серого имеют свою нормировку для каждого профиля

Таблица 1. Расчетные эффективности накачки для квантрона 4 мм для ряда длин волн накачки λ , соответствующих различным температурам T

№	$T, ^\circ\text{C}$	$\lambda, \text{нм}$	КПД накачки
1	+10	804	62%
2	+25	809	68%
3	+45	811	64%

Исследованы несколько типов оптических схем на основе рассмотренного квантрона с активной модуляцией добротности: линейные устойчивый и не-устойчивый резонаторы, а также система с задающим генератором и усилителем (далее – ЗГ-У).

Устойчивый резонатор имеет длину 300 и 450 мм и включает плоские глухое зеркало и выходное зеркало с коэффициентом отражения 24 %.

Неустойчивый резонатор имеет длину 260 мм и включает глухое вогнутое зеркало и выходное выпуклое зеркало в форме мениска с Гауссовым профилем поглощения с пиковым коэффициентом отражения 30 % и радиусом профиля по уровню $1/e^2$ 1,6 мм. Увеличение резонатора с учетом дифракции [3] равно 1,4.

Система ЗГ-У использует приведенный квантрон в качестве усилителя с двумя проходными для пучка поляризованного излучения диаметром 1,7 мм с энергией 15 мДж с расходимостью не более 1,5 мрад, пропускаемого через телескоп 2х. Второй проход излучения через усилитель обеспечивается внесением поляризационной оптики. Суммарная длина системы составляет 340 мм.

Результаты экспериментальных исследований устойчивого резонатора 300 мм и неустойчивого представлены в табл. 2. Для частот следования импульсов 1, 5, 10, 12.5 Гц измерения параметров проводились через 100 с после запуска, для частоты 20 Гц измерения проводились через 20 с после запуска. Для обоих резонаторов характерно небольшое ухудшение параметров при повышении частоты следования импульсов.

Таблица 2. Экспериментально полученные значения энергии и расходимости лазерных импульсов при различной частоте следования для устойчивых и неустойчивых резонаторов

Частота, Гц	Устойчивый резонатор		Неустойчивый резонатор	
	Энергия, мДж	Расходимость, мрад	Энергия, мДж	Расходимость, мрад
1	80	1.7	64	1.1
5	80	1.7	65	1.1
10	79	1.7	66	1.2
12.5	74	1.7	64	1.3
20	72	1.5	62	1.3

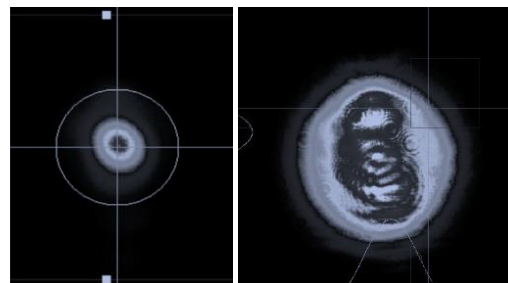


Рисунок 3 – Изображение излучения резонатора 450 мм в дальней зоне (слева), в ближней зоне (справа)

При увеличении длины устойчивого резонатора до 450 мм расходимость снижается до 1,2 мрад для частоты следования импульсов 5 Гц, энергия импульса составляет 79 мДж. Изображения излучения в дальней и ближней зонах приведены на рис. 3.

Выходная энергия и расходимость ЗГ-У при частоте следования импульсов 20 Гц составляют соответственно 74 мДж и 1 мрад.

Для расширения диапазона рабочих частот следования импульсов планируется повышение эффективности системы отвода тепла от активного элемента. Для снижения расходимости устойчивого резонатора необходимо увеличить его длину. Использование системы ЗГ-У прием-

лемо в случае, его увеличение габаритов и энергопотребления не критично.

Литература

1. Xie, S. Investigation of 100 mJ all solid state end-pumped 1064 nm Q-switched laser / S. Xie // Proc. SPIE, LIDAR Imaging Detection and Target Recognition. – 2017. – Vol. 106050.
2. Moon, H.-J. Operation Characteristics of Diode-Pumped, Bifocusing Compensated Two-Rod Nd:YAG Lasers with Diffusive Reflectors / H.-J. Moon // Journal of the Korean Physical Society. – 2001. – Vol. 39, № 5. – P. 881–885.
3. Morin, M. Graded reflectivity mirror unstable laser resonators / M. Morin // Optical and Quantum Electronics. – 1997. – Vol. 29. – P. 819–866.

УДК 620.183

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ДЕФЕКТОВ ДРАГОЦЕННЫХ КАМНЕЙ

Палабугин М.В., Усольцев В.П.

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

Аннотация. Произведен обзор: наиболее часто встречающихся дефектов в составе драгоценных камней, классификации методов по обнаружению несовершенств в структуре алмаза. Исследован метод, позволяющий проводить быструю и качественную оценку наличия дефектов в структуре кристалла. Проанализирован опыт, результаты которого подтвердили жизнеспособность предлагаемой идеи.

Ключевые слова: лазерное сканирование, драгоценные камни.

RESEARCH SYSTEM FOR ANALYSIS OF DEFECTS OF PRECIOUS STONES

Palabugin M., Usoltsev V.

*Izhevsk State Technical University named after M. T. Kalashnikov
Izhevsk, Russia*

Abstract. A review is made of: the most common defects in the composition of gemstones, classification of methods for detecting imperfections in the structure of a diamond. A method has been investigated that makes it possible to quickly and qualitatively assess the presence of defects in the crystal structure. The experience is analyzed, the results of which have confirmed the viability of the proposed idea.

Key words: laser scanning device, precious stones.

*Адрес для переписки: Палабугин М.В., ул. Школьная 47А, г. Ижевск, Россия
e-mail: mr.kadochnikov777@mail.ru*

Введение. Каждый год злоумышленники изготавливают все более качественные подделки, которые с трудом могут выявить даже профессиональные ювелиры. Именно поэтому крайне важно создать установку, которая позволит безошибочно определить подлинность того или иного драгоценного камня [1].

Данный метод основан на запечатлении теневой картины, которая возникает при просвете драгоценного камня лазерным излучением. Известно, что каждый драгоценный камень уникален, нет другого, который бы был в точности на него похож. Подобное возникает из-за распределения внутри кристалла драгоценного камня определенных микро и макродефектов. Их сочетание, как раз-таки и дает уникальное распределение темных пятен разной формы и размеров на теневой картине. Эти данные впоследствии заносятся в паспорт изделия и по требованию пред-

являются, чтобы те или иные лица могли удостовериться в его подлинности [1].

Дефектный состав кристаллов алмаза. Под микродефектами понимаются такие дефекты, размеры которых сопоставимы с межатомными расстояниями. К ним относятся всевозможные точечные дефекты кристаллической решетки бриллианта, чьи размеры соизмеримы с межатомными расстояниями. Основные дефекты данного типа вызваны: примесными атомами внедрения (в основном это атомы углерода, азота, бора); изменением периодичности расположения атомов кристаллической решетки (в результате чего изменяются длины атомных связей в кристаллической решетке); вакансиями; примесными атомами замещения (обычно это водород и кремний). Дефекты в кристалле алмаза способны оказывать существенное влияние на