

дискретизацию по пространственным координатам или времени, либо увеличивать число изменений устройства воспроизведения.

1. Гребенников О.Ф. Основы записи и воспроизведения изображения (в кинематографе). М.:

УДК 535.327

## ЛАЗЕРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ЛИНЗЫ В ИТТЕРБИЙ- И ЭРБИЙ-СОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛАХ

Захарова А.Н., Лойко П.А., Маляревич А.М., Юмашев К.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Целью работы является разработка и изготовление научно-учебного комплекса, предназначенного для получения информации о фотоупругих искажениях лазерных элементов, необходимой для конструирования твердотельных лазерных систем различной геометрии и назначения, в частности, для расчета оптимальных параметров и определения условий устойчивости лазерного резонатора; достижения условия согласования мод накачки и генерации; определения допустимых уровней накачки; преодоления деполяризационных потерь; анализа условий реализации «микрочип»-, «слэб»- и «мини»-лазеров.

Прибор будет востребован в научно-исследовательских учреждениях, при выполнении научных работ аспирантами и магистрантами, а также может использоваться при выполнении лабораторных практикумов в области оптико-электронного и лазерного приборостроения, лазерной физики и оптики.

Работа проводилась в рамках задания 21 подпрограммы «Научно-учебное оборудование» ГНТП «Эталоны и научные приборы». В результате выполнения работы разработан комплект рабочих КД на изготовление измерителя и изготовлен его опытный образец.

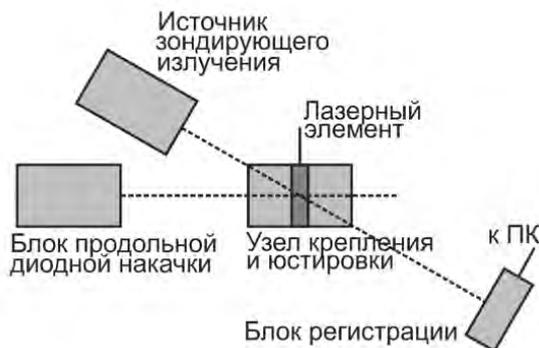


Рисунок 1 – Блок-схема лазерного комплекса

В состав комплекса входят: блок продольной диодной накачки; источник зондирующего

Искусство. – 1982. – 239 с.

2. Lumsdaine, A., Georgiev, T. The Focused Plenoptic Camera. [Эл. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tgeorgiev.net/FocusedPlenoptic.pdf>.

лазерного излучения; узел крепления и юстировки лазерного элемента; блок регистрации зондирующего лазерного излучения. Измерения основаны на методе пробного пучка [1].

Блок продольной диодной накачки обеспечивает оптическую накачку лазерного элемента и состоит из:

- блока питания и управления лазерным диодом 5, который позволяет осуществлять изменение тока через лазерный диод, а также контролировать температуру лазерного диода и температуру лазерного элемента с точностью не хуже 0.1 °С, для чего предусмотрено подключение данного блока к двум элементам Пельтье 2, 19 и двум термисторам 3, 20;

- узла крепления лазерного диода, включающего полупроводниковый лазерный диод 1 на основе структуры InGaAs, излучающий непрерывное лазерное излучение с мощностью до 5 Вт в области длин волн 0.94-0.98 мкм, с волоконным выводом излучения; массивное металлическое основание 4, предназначенное для отвода тепла от лазерного диода 1; элемент Пельтье 2, предназначенный для охлаждения лазерного диода 1; термистор 3 для контроля температуры лазерного диода, кулер 6 для охлаждения данного узла, подключенный к блоку питания 5;

- узла крепления оптического волокна 8, состоящего из SMA-разъема 9 для оптического волокна 8, юстировочного столика 10 и трансляционной подвижки 11;

- коллимирующей линзы 12, закрепленной в юстировочном столике 13;

- фокусирующей линзы 14, закрепленной в юстировочном столике 15, установленном на трансляционной подвижке 16;

Источник зондирующего лазерного излучения включает: твердотельный лазер 24 (выходное излучение – непрерывное, поляризация - линейная, выходная мощность – 20 мВт, длина волны выходного излучения – 0,53 мкм, расходимость излучения – 10 мрад); радиатор 25 для пассив-

ного охлаждения лазера; юстировочный столик 26; блок питания лазера 27.

Узел крепления и юстировки лазерного элемента включает: радиатор 18 для отвода тепла от лазерного элемента; элемент Пельтье 19, предназначенный для охлаждения лазерного элемента 17; термистор 20 для контроля температуры лазерного элемента 17; юстировочный столик, позволяющий осуществлять плавную юстировку в горизонтальной и вертикальной плоскостях; кулер 22 для охлаждения данного узла, подключенный к блоку питания.

Блок регистрации зондирующего лазерного излучения предназначен для регистрации искажений пространственного профиля пучка зондирующего лазерного излучения, прошедшего через оптически накачиваемый лазерный элемент, и включает измеритель пространственного профиля пучка зондирующего лазерного излучения, обеспечивающий передачу данных на персональный компьютер, с набором нейтральных светофильтров 28.

Принципиальная схема лазерного комплекса показана на рисунке 2.

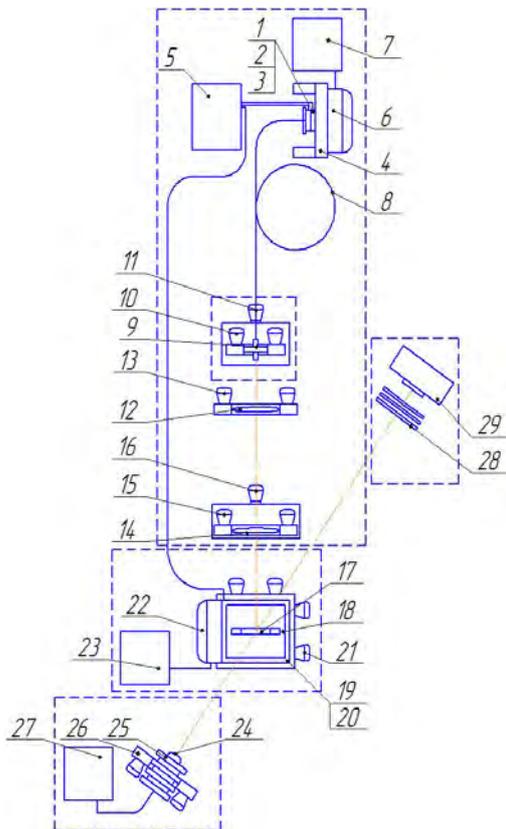


Рисунок 2 – Принципиальная схема лазерного комплекса, элементы 1-29 описаны в тексте

Все элементы научно-учебного комплекса закреплены на массивной металлической плите, препятствующей разъюстировке комплекса в течение времени проведения измерений. Комплекс содержит металлическую крышку для защиты

оптических элементов от неблагоприятных внешних воздействий.

Созданный комплекс был апробирован путем измерения радиуса моды накачки для оптически одноосного кристалла иттриевого ванадата, соактивированного ионами эрбия и иттербия  $\text{Er, Yb:YVO}_4$ , который широко используется в лазерной технике.

Измерения проводились для кристалла, вырезанного перпендикулярно кристаллографической оси [001] для поляризации света  $E \parallel a$  ( $\sigma$ ) на длине волны 532 нм. Для накачки использовался InGaAs лазерный диод (поглощенная мощность накачки до 1 Вт на длине волны 960 нм). Радиус пучка накачки в кристалле составил 100 мкм. Зависимость оптической силы линзы  $D = 1/f$  от мощности накачки приведена на рисунке 3 для двух направлений ( $\parallel a$  и  $\parallel c$ ). Термическая линза является положительной (фокусирующей). Наклон зависимостей на рисунке называется коэффициентом чувствительности  $M$  [2]. Он равен 48 и  $33 \text{ м}^{-1}/\text{Вт}$  для меридиональных плоскостей, содержащих направления  $\parallel c$  и  $\parallel a$ . Различие данных величин называется степенью астигматизма  $S = 15 \text{ м}^{-1}/\text{Вт}$  [2].

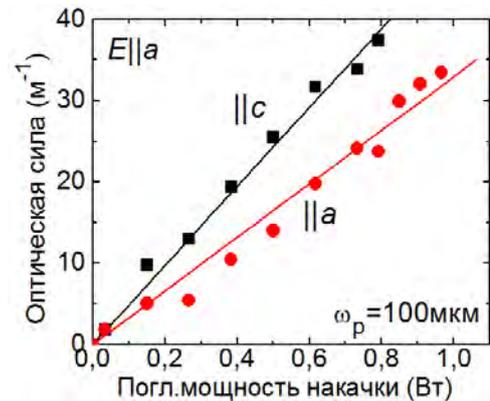


Рисунок 3 – Зависимость оптической силы термической линзы от мощности накачки для кристалла  $\text{Er, Yb:YVO}_4$

Технические характеристики разработанного комплекса приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики лазерного комплекса

Рабочая длина волны	532 нм
Поляризация света	линейная
Тип накачки	продольная диодная
Мощность накачки	до 5 Вт
Точность определения вклада фотоупругого эффекта [3] в наведенную рефракцию	$0.5 \times 10^{-6} \text{ К}^{-1}$
Точность определения коэффициента чувствительности наведенной рефракции к изменению мощности накачки	$0.1 \text{ м}^{-1}/\text{Вт}$
Точность определения степени астигматизма для лазерного элемента	$0.2 \text{ м}^{-1}/\text{Вт}$

Созданный опытный образец комплекса находится в Научно-исследовательском центре оптических материалов и технологий БНТУ.

1. Thermal lensing in Er,Yb:YVO<sub>4</sub> crystal / P. Loiko, et al. // Laser Phys. Lett. – 2015. – Vol. 12. – P. 035001-1–5.

2. Thermo-optic characterization of Yb:CaGdAlO<sub>4</sub> laser crystal / Loiko, et al. // Opt. Mater. Express. – 2014. – Vol. 4. – P. 2241–2249.

3. Anisotropy of the photo-elastic effect in Nd:KGd(WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> laser crystals / P.A. Loiko, et al. // Laser Phys. Lett. – 2014. – V. 11. – P. 1–7.

УДК 621.317: 681.518

### ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ПРАКТИКУМОВ ПО РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ

Здоровцев С.В.<sup>1</sup>, Курочкин А.Е.<sup>2</sup>, Кухаренко Н.А.<sup>1</sup>, Кушнеров Д.П.<sup>1</sup>, Листопад Н.И.<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> ОАО «МНИПИ»

Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

Создание максимально гибких многофункциональных измерительных приборов и систем является актуальной научно-технической задачей при подготовке технических специалистов различных образовательных уровней. Решение данной задачи в каждом конкретном случае базируется, как правило, на научно-техническом заделе, имеющемся в той или иной области знаний. При этом универсальность системы обеспечивается с одной стороны – программными возможностями используемых вычислительных средств – персональных компьютеров (ПК), с другой – функциональной гибкостью технологической подсистемы [1].

Сами себе ПК не могут обеспечить универсальность системы на технологическом уровне – то есть на уровне выполняемых технологических операций и процессов. Основное их назначение – обеспечение, прежде всего, информационной гибкости систем, – то есть гибкость на уровне приема и обработки информации от самых различных источников (датчиков) и выдачи соответствующих управляющих и информационных сигналов на самые различные приемники подсистемы и т.д. [2]. Для обеспечения же максимальной функциональной гибкости технологической подсистемы непосредственно на уровне технологических операций и процессов, функциональные элементы и устройства должны отвечать определенным схемотехническим требованиям, которые формулируются и реализуются в соответствии со спектром решаемых задач [3].

Для постановки современных учебных лабораторных практикумов наиболее целесообразным является их реализация в виде аппаратно-программных комплексов, которые позволяют исследовать реальные физические объекты и функциональные узлы. В этом случае имеется возможность использовать в работе элементы

реального и виртуального взаимодействия с лабораторным оборудованием. При этом основными объектами исследования являются учебные лабораторные модули (УЛМ), а измерительное оборудование может быть, как реальным, обеспечивающим непосредственную связь с ПК через интерфейс, так и виртуальным, полностью управляемым ПК.

Объединение аппаратно-программных средств измерения и обработки измерительной информации с учебными лабораторными модулями представляет собой измерительный аппаратно-программный комплекс, предназначенный для выполнения учебных лабораторных практикумов по радиоэлектронным дисциплинам (УАПК)

Основными составными узлами УАПК являются функциональные УЛМ и информационно-измерительная система (ИИС), включающая блок управления (БУ), блок измерения (БИ), блок обработки измерительной информации на базе ПК.

УЛМ могут иметь различную структуру и техническое исполнение в зависимости от многообразия решаемых задач. УЛМ подразделяются на изучаемые дисциплины и на лабораторные практикумы в составе этих дисциплин. Основным условием реализации УЛМ в составе ИАПК является их совместимость с ИИС.

Разработанная ИИС структурно состоит из трех функциональных групп. Первая группа включает радиоэлектронные модули первичной обработки информации. Вторая группа ИИС представляет собой блок измерительный (БИ), включающий комплект интеллектуальных измерительных USB-приборов с соответствующим программным обеспечением. Третья группа представляет собой блок управления (БУ) и информационный блок, включающий математическое, алгоритмическое и программное обеспе-