

Научно - исследовательская работа

ФИЗИКА

**Лазерный модульный обучающий набор “Принцип
работы лазера”**

Выполнили:

Саркисян Лилия Норайровна,

Иваницкий Денис Максимович -

Учащиеся 10 А класса МАОУ СОШ №2 г.о. Бронницы

Руководители:

Ашурбеков Сефер Ашурбекович - педагог
дополнительного образования МАОУ СОШ №2 г.о.

Бронницы, кандидат технических наук, доцент

2024 г.

Бронницы

Оглавление

Введение

1. Техника безопасности при работе с лазерным набором
 2. Лазерный излучатель с накачкой одним лазерным диодом 1 класса опасности
 - 2.1. Функциональная схема
 - 2.2. Схемы резонаторов
 3. Спецификация лазерных излучателей
 4. Методика сборки и юстировки излучателя
 5. Изучаемые темы
 6. Описание работы
- Заключение
- Литература

1. История изобретения лазера.

Слово «лазер» образовано из начальных букв английских слов: light amplification by stimulated emission of radiation - усиление света за счет вынужденного излучения.

Впервые понятие о вынужденном излучении в физику ввел в 1916 году Альберт Эйнштейн, а первая генерация лазерного излучения на кристалл рубина с примесью ионов хрома Cr^{3+} была получена американским физиком Теодором Майманом в 1960 году.

2. Актуальность.

Лазерная физика очень интересует школьников ввиду большого количества информации вокруг этой темы, связанной с уникальными свойствами лазерного пучка и многочисленными применениями лазеров в различных областях науки и техники, включая информационный и оборонный секторы, медицину, связь, промышленные технологии. В учебниках физики для общеобразовательных школ нет последовательного описания устройства лазеров и их элементов. Также не рассматриваются условия генерации вынужденного излучения, способы накачки в активных сред, процессы в оптических резонаторах. Теме «лазеры» отведено не более трёх часов, что явно недостаточно для выполнения проектов.

Современные требования ФГОС стали более глубокими, особое внимание в системе обучения школьников направлено на развитие индивидуальных способностей к исследовательской и практической деятельности учащихся. В школьных учебниках вообще не обсуждается новый класс твердотельных лазеров с накачкой полупроводниковыми лазерными диодами. Ванадатные и гранатовые лазеры с неодимом и накачкой лазерными диодами, работающих как в непрерывном, так и в импульсном режимах с акустооптической модуляцией добротности на гармониках, являются лучшими в ультрафиолетовой видимой и ближней ИК-областях оптического спектра. Эти лазеры при своих компактных и малогабаритных размерах обеспечивают высоко качество лазерного пучка и находят широкое применение в приборах оптической техники, фотоники, дальнометрии, в технологии обработки материалов, в медицине, в оборонном секторе. Подробный анализ содержания школьных учебников с точки зрения освещения темы «Лазеры и их применение» позволяет сделать вывод о том, что данная тема не раскрыта для учащихся, выполняющих исследовательские проекты по лазерной физике. Не затронута тема современных твердотельных лазерных излучателей с диодной накачкой, доля которых на мировом лазерном рынке ежегодно возрастает более чем 20%. Ещё один существенный недостаток изучения лазеров по школьной программе - отсутствие наглядных пособий и физического практикума по лазерной физике. Это объясняется тем, что сборка и юстировка современного лазерного излучателя - длительный и сложный процесс, требующий высокой квалификации работника. В этой связи особенно актуальна разработка лабораторного лазерного образовательного набора с применением твердотельных

лазерных излучателей модульной конструкции, впервые предложенной в настоящей работе (модуль блока накачки, модуль оптического резонатора с активным элементом и удвоителям частоты, модуль двухкомпонентного телоскопа) Предложенный образовательный набор позволяет обучающимся после определения требований к лазерному излучателю при выполнении исследовательского проекта самим собрать твёрдотельный излучатель с диодной накачкой.

В настоящей работе была поставлена цель: спроектировать и собрать действующий макет. Лазерного образовательного набора модульной конструкции для изучения принципа работы лазера, а также спонтанного и вынужденного излучения и процессов в оптическом резонаторе.

По окончании курса дополнительного образования выпускники будут иметь базовые знания по лазерной физике и практические навыки работы на лазерных установках, что позволит им успешнее обучаться по направлению "Лазерная техника и лазерные технологии"

5

Техника безопасности при работе с лазерным обучающим набором. Общие требования лазерной безопасности

1. Обучающиеся, помните! Лазер - мощный источник света. Попадание в глаза и на кожу как прямого, так и отражённого излучения лазеров второго- четвертого классов опасности недопустимо!

1.1 Принятие мер лазерной безопасности при выполнении экспериментальных работ зависит от класса опасности лазеров. Лазеры по степени опасности генерируемого излучения подразделяются на четыре класса опасности:

1 класс - полностью безопасные лазеры;

2 класс - это лазеры, выходное излучений которых представляет опасность при облучении глаз или кожи коллимированным пучком, диффузно-отражённое излучение (например, от стен) безопасно как для кожи, так и для глаз.

3 класс - лазеры, выходное излучение которых представляет опасность при облучении глаз не только коллимированным, но и диффузно отражённым излучением на расстоянии 10 см от отражающей поверхности и (или) при облучении кожи коллимированным излучением. Диффузно-отражённое излучение не представляет опасности для кожи;

4 класс - лазеры, диффузно-отраженное излучение которых представляет опасность для кожи и глаз на расстоянии 10 см от отражающей поверхности. Лазеры 4 класса опасности должны размещаться в отдельных помещениях. В лазерной исследовательской лаборатории имеются только лазеры 1-3 класса опасности.

1.2 В лазерной лаборатории лазерная безопасность обеспечивается коллективными средствами защиты (ограждение зоны действия лазерного луча) или индивидуальными средствами (противолазерными очками).

1.3 Вводный инструктаж проводится со всеми обучающимися лазерной лаборатории до начала работ. Не реже одного раза в 3 месяца обучающиеся проходят повторный инструктаж на рабочем месте.

2. Правила выполнения исследовательских и лабораторных работ.

2.1 К выполнению работ допускаются только обучающиеся, прошедшие инструктаж по Правилам лазерной безопасности и неукоснительно их соблюдающие.

2.2 В помещении лазерной лаборатории не допускается присутствие обучающихся: в верхней (уличной) одежде; с едой, напитками и т. п.

2.3 Сотовые телефоны должны быть настроены на беззвучный режим работы или выключены. При нарушении правил лазерной безопасности обучающиеся отстраняются от выполнения экспериментальных работ, дальнейшая работа разрешается только после сдачи правил техники безопасности.

2.4 Работы выполняются бригадами по 2-3 человека. В случае присутствия только одного члена бригады лабораторная работа не проводится.

2.5 Перед включением лабораторного стенда или установки необходимо: провести обзор рабочего места, убрать все лишнее, мешающее нормальной работе; убедиться в исправности защитных блокировок и заземления; установить наличие противолазерных очков или светоограждений, если это требуется.

2.6 К работам можно приступить только с разрешения преподавателя, после проведения инструктажа на рабочем месте.

2.7 При проведении лабораторной работы все допущенные к её заполнению члены бригады должны постоянно присутствовать на рабочем месте.

2.8 При проведении работ запрещается:

- работать на лазерном стенде одному человеку;
- облакочиваться на лабораторные стенды;
- оставлять без присмотра включенную установку;
- вносить в зону действия лазерного луча посторонние предметы, особенно зеркально отражающие.

2.9. Выключение лабораторного стенда производится только с разрешения преподавателя.

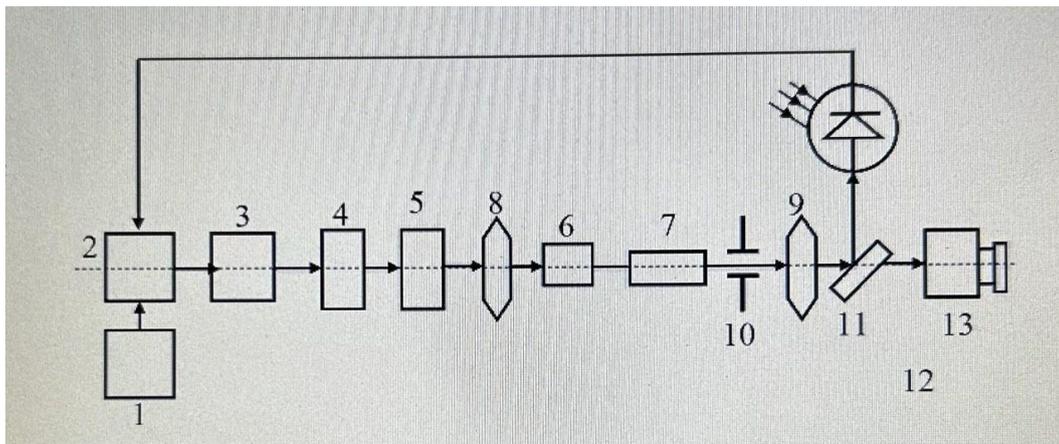
2.10. При травме или другом несчастном случае с обучающимся надо немедленно отстранить его от работы, оказать первую медицинскую помощь, в случае необходимости вызвать «Скорую помощь» по телефону 23 или 112.

2.11. Отчёт по лабораторной или исследовательской работе должен быть индивидуальным, т. е. предоставляется каждым членом бригады с протоколом исследования, подписанным руководителем.

3. Техника безопасности по окончании работы

3.1. Отключать установку, органы управления выставить в исходное положение.

На рисунке приведена функциональная схема образовательного набора для излучения физических процессов в лазерном излучателе с диодной накачкой.



Функциональная схема лазерного излучателя на кристалле $YVO_4 : Nd^{3+}$ с накачкой одним полупроводниковым лазерным диодом и удвоением частоты.

- 1 - стабилизированный источник питания 5V;
- 2 - плата управления током диода накачки;
- 3 - лазерный диод накачки;
- 4 - конденсор;
- 5 - объектив;
- 6 - активный элемент;
- 7 - нелинейный кристалл ниобата лития;
- 8,9 - зеркала оптического резонатора для второй гармоники 532 нм;
- 10 - диафрагма;
- 11 - полупрозрачная пластина;
- 12 - фотоприёмник;
- 13 - двухкомпонентный телескоп;

7

Излучение лазерного диода (3) (700-800 нм) с помощью конденсора (4) и объектива (5) фокусируется на активный элемент (6). Последний вместе с нелинейным кристаллом для удвоения частоты (7) и зеркалами (8,9) установлен в корпусе резонатора.

Функциональные схемы резонаторов

Функциональные схемы модулей ванадатных активных оптических резонаторов приведена на рисунке 4.1 (а, б) представлены функциональные схемы двух активных резонаторов на $\text{YVO}_4:\text{Nd}^{3+}$.

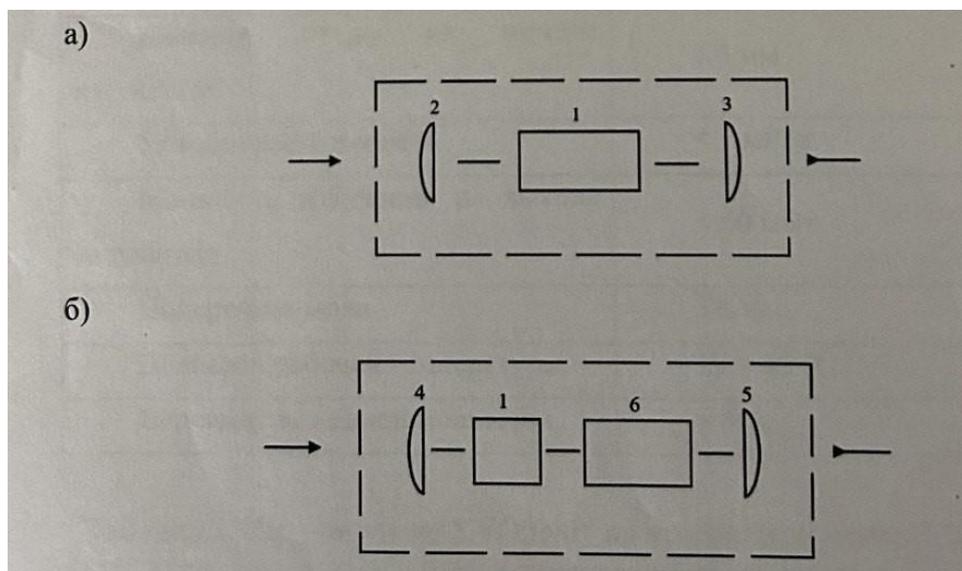


Рисунок 4.1. Функциональные схемы модулей активных резонаторов на $\text{YVO}_4:\text{Nd}^{3+}$:

а) на основной гармонике 1064 нм;

б) на второй гармонике 532 нм.

1 - активный элемент ванадата с неодимом 4×4×4 мм;

2 - входное зеркало с многослойными покрытиями на 1064 нм, с кос коэффициентом отражения 96-98%;

3 - выходное зеркало на 1064 нм, коэффициент пропускания 40-60%;

4 - входное зеркало на 532 нм;

5 - выходное зеркало на 532 нм;

6 - нелинейный кристалл ниобата лития 2×2×10 мм.

Юстировка и сборка всех модулей выполнены с высоким качеством на специальном лабораторном стенде, собранном на виброустойчивых лазерных сотовых столах.

Спецификация лазерных излучателей

По результатам исследовательского проекта разработаны два излучателя со следующими характеристиками, приведёнными в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Излучатель на $YVO_4:Nd^{3+}$ на основной гармонике (1064 нм).

Режим работы	Непрерывный одномодовый
Длина волны	1064 нм
Диаметр пучка на выходе излучателя	1,6 мм
Угловая расходимость	< 1 мРад
Мощность излучателя на выходе излучателя	<50 мВт
Поперечная мода	TEM ₀₀
Диапазон рабочей температуры	10 – 40 °С
Вариация выходной мощности	< 5 %

Таблица 2. Излучатель на $YVO_4:Nd^{3+}$ на второй гармонике (532нм)

Режим работы	Непрерывный одномодовый
Длина волны	532 нм
Диаметр пучка на выходе излучателя	1,4 мм
Угловая расходимость	< 0,5 мРад
Мощность излучателя на выходе излучателя	< 20 мВт
Поперечная мода	TEM ₀₀
Диапазон рабочей температуры	10 – 4- °С
Вариация выходной мощности	< 5 %

Разработан инновационный ванадатный лазер модульной конструкции, позволяющий относительно быстро собрать и отъюстировать лазерные излучатели в видимой и ИК-области оптического спектра.

Модульная конструкция лазерного излучателя имеет большое практическое применение В лабораториях проектного образования образовательных

учреждений среднего, средне-профессионального И высшего образования при выполнении исследовательских проектов по лазерной физике и лазерным технологиям.

Предложенный лазер позволяет обучающимся самим собрать и отъюстировать твердотельный лазерный излучатель с диодной накачкой в приемлемом ценовом сегменте для выполнения исследовательских проектов.

Методика сборки и юстировки излучателя

Для юстировки и сборки используется специальный стенд, на котором размещен вспомогательный юстировочный лазер, призма и экран с тонким отверстием. Вначале зелёный луч лазера 532 нм направляют строго вдоль оси стенда на одной и той же высоте и по нему ориентируют и закрепляют основание излучателя. Закрепляют на платформе корпуса осветителя резонатора.

После этого юстируют оптические элементы осветителя, устанавливают объектив, добиваются фокусировки излучения на активном элементе.

Резонатор юстируют от в такой последовательности: входное зеркало, активный элемент выходное зеркало. В последнюю очередь производится юстировка телескопа.

Изучаемые темы:

- процессы накачки лазерным диодом;
- положительная обратная связь, назначение оптического резонатора; - моды резонатора, одномодовый, многомодовый, одночастотный режимы; - юстировка оптического резонатора.

Описание работы:

1. Установить на платформу излучателя модуль накачки с одним лазерным диодом. Отключить отводной узел.
2. Включить блок питания 5V, измеритель мощности и тестер для измерения тока лазерного диода.
3. Установить минимальный ток лазерного диода и убедиться в отсутствии вынужденного излучения на выходе резонатора.
4. Плавно увеличивая ток лазерного диода зафиксировать порог возбуждения (ток лазерного диода накачки, когда возникает генерация).
5. Снять с платформы резонатор и снять зависимость мощности излучения накачки от тока лазерного диода. Ток менять от нуля до номинального тока лазерного диода.
6. Рассчитать коэффициент полезного действия модуля накачки.

7. Установить модуль резонатора на платформу и добиться получения генерации (532 нм) в одномодовом режиме (пучок имеет форму круга).
8. Снять зависимость выходной мощности излучения лазера от мощности накачки.
9. Определить коэффициент полезного действия лазера.
10. Сделать выводы. Экспериментальные результаты занести в таблицу.

Заключение

1. Разработан и отъюстирован образовательный набор модульной конструкции для изучения принципа работы лазера, а также спонтанного и вынужденного излучения, процесса диодной накачки.
2. Образовательный набор может быть эффективно использован для изучения физики твёрдотельных лазеров в лабораториях проектного образования.

Список литературы и источников

1. Русинов М. М. Техническая оптика: Учебное пособие для вузов.
2. Тарасов Л. В. Физика лазера Издание пятое: Практическое пособие М.: ЛЕНАНД. - 2017. - С.456.
3. Рябухо В. П. Ляпкин Д. Б. Эффекты продольной пространственной когерентности света в интерференционном эксперименте // Оптика и спектроскопия. -2005.С.309-320
4. Ландсберг Т. С. Оптика. М.: физмат. лит. - 2010. - С.846.
5. Гойзер Б. Н. Физические основы лазерной техники: Учебное пособие. - М.: ИНФРА. - 2017. С. 160.
6. Применение лазеров в науке, технике и технологии. Ф. С. Проворов, А. Г. Сизык, А. В. Сорокин, Красноярск, Изд-во КГУ. -1988. -С.84.
7. Звелто О. Принципы лазеров. Перевод с английского: Учебное пособие. -М.: Мир. - 19 0. -С.558.
8. Физические принципы лазерного спектрального анализа: Препринт N-28-Ф: В 2 ч./ Л. Т. Сухов, Красноярск: Ин-т физики СО РАН. -1987. С.110.
9. Вейко В. П., Либенсон М. Н., Таипов Р. А. и др. Лазерная технология: обзоры по элетронной технике / Л.: -1970. -С. 120.
10. Вейко В. П., Петров А. А., Самохвалов А. А. Введение в лазерные технологии. Опорный конспект лекция по курсу «Лазерные технологии» под редакцией Вейко В. П. -СПБ: Университет ИТМО. 2018. - 161 с.

11. Вейко В. П, Шахно Е. А., Лазерные технологии в задачах и примерах: Учебное пособие. — СПб: Университет ИТМО, 2014. -88 с.