

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)**

Институт прикладной математики и информатики био- и нанотехнологий
Кафедра физики и прикладной математики

Герке Мирон Николаевич
Лексин Андрей Юрьевич
Аракелян Сергей Мартиросович

Методические указания к лабораторным занятиям
по дисциплине **«Системы лазерной полупроводниковой накачки»**
для студентов ВлГУ, обучающихся
по направлениям 200400.68 «Опtotехника», 200500.62, 200500.68 «Лазерная
техника и лазерные технологии»

Владимир-2015 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Порядок выполнения лабораторной работы	3
Глоссарий.....	3
Указания по технике безопасности	4
Измерение выходных параметров полупроводниковых лазеров и твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой. Основные параметры и характеристики лазерного излучения	4
Лабораторная работа №1 Методика измерения спектральных параметров ЛЛД на установке SCLD-10-IR.....	6
Лабораторная работа №2 Методика измерения электрических и оптических параметров ЛЛД на установке IELD-8.....	17
Лабораторная работа №3 Применение термостатирования ЛД с помощью эффекта Пельтье для точного совмещения спектра накачки со спектром поглощения Nd:YAG	25
Библиографический список	29

Введение

Порядок выполнения лабораторной работы

Работа в физических лабораториях требует от студента соответствующей подготовки для выполнения лабораторной работы, кроме рассмотренной теоретической части также необходимо использовать литературу, которую рекомендует преподаватель на лекции.

В отчет по лабораторной работе необходимо внести:

- Номер и название работы;
- Цель работы;
- Теоретическую часть;
- Результаты экспериментов (в виде описаний, таблиц, графиков).
- Вывод.

Работа заканчивается составлением краткого заключения (вывода), в котором следует указать:

- Методы и инструменты, использованные при выполнении работы;
- Краткий анализ результатов.

Глоссарий

ЛЛД – линейка лазерных диодов

МЛД – матрица лазерных диодов

МП – микрохолодильник Пельтье

ФП – фотоприемник

ВАХ – вольт-амперные характеристика(и)

ПК – персональный компьютер

Указания по технике безопасности

При работе в лаборатории следует быть внимательным и выполнять правила по технике безопасности. Инструкция по технике безопасности находится в лаборатории.

Перед выполнением лабораторной работы следует внимательно изучить руководства к оборудованию, применяемому в работе. Уделить внимание разделам, относящимся к технике безопасности.

Запрещается смотреть прямо на выходную апертуру любого, даже самого маломощного, лазера, а также вносить в пучок зеркально отражающие предметы (часы, ювелирные украшения и т.п.). Это может привести к поражению органов зрения!

Лазерные диоды являются низковольтной нагрузкой, что сводит риск поражения электрическим током к минимуму. Однако питание аппаратуры производится от однофазной сети переменного тока 220 В. **Поэтому включение установок производить только под руководством преподавателя!**

Измерение выходных параметров полупроводниковых лазеров и твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой. Основные параметры и характеристики лазерного излучения

Согласно ГОСТ 24453-80 к основным параметрам и характеристикам лазерного излучения относятся:

1. Энергетические параметры и характеристики лазерного излучения;
2. Спектральные параметры и характеристики лазерного излучения;

3. Пространственно-временные параметры и характеристики лазерного излучения;
4. Параметры когерентности лазерного излучения;
5. Параметры поляризации лазерного излучения.

ГОСТ подробно описывает как определения этих параметров и характеристик, так и возможные методы их измерения (определения). Что касается непосредственной процедуры измерения выбранного параметра, то следует обратиться к соответствующему стандарту. Например, ГОСТ 25786-83 «ЛАЗЕРЫ. Методы измерения средней мощности, средней мощности импульса, относительной нестабильности средней мощности лазерного излучения» описывает измерение мощностных параметров, международный стандарт ISO 11146_1 – определение ширин и углов расхождения лазерных пучков и т.д. При разработке методики измерения, разработке схемы измерений, выборе соответствующей измерительной аппаратуры всегда следует руководствоваться требованиями стандартов. В частности, при выполнении данных работ следует руководствоваться требованиями ГОСТ Р 51106-97 «Лазеры инжекционные, излучатели, решетки лазерных диодов, диоды лазерные. Методы измерения параметров».

Лабораторная работа №1

Методика измерения спектральных параметров ЛД на установке SCLD-10-IR

1. Назначение установки SCLD-10-IR

Установка SCLD-10-IR предназначена для измерения спектральных характеристик линеек лазерных диодов (ЛЛД) и матриц лазерных диодов (МЛД): длины волны, ширины линии и ширины огибающей спектра излучения.

2. Характеристики установки SCLD-10-IR

представлены в табл. 1

Таблица 1

Основные технические характеристики установки

Параметр	Значение	Единица измерения
Амплитуда изменения тока накачки	0.3 – 40	А
Длительность импульса тока накачки	50 – 500	мкс
Длительность фронта/спада импульса тока накачки	не более 20	мкс
Амплитуда выброса тока накачки	не более 5	%
Точность установки тока накачки	0.5	А
Максимальное выходное напряжение БИПЛД-1	не менее 5	В
Диапазон частот выходных импульсов тока накачки	1 – 1000	Гц

Выходная оптическая мощность	25 – 120	Вт
Спектральный диапазон	780-900	нм
Диапазон установки температуры стабилизации	не менее 10 – 30	°С
Стабилизация температуры	±1	°С
Диапазон рабочих температур	+10..+45	°С
Температура хранения	-20..+45	°С
Напряжение питания: однофазная сеть переменного тока частотой 50-60 Гц	220 ± 10%	В

3. Состав установки SCLD-10-IR

- блок измерения параметров лазерных линеек БИПЛЛ-1 с комплектом кабелей;
- водоохлаждаемый модуль, снабженный микрохолодильником Пельтье;
- блок стабилизации температуры БСТ-1;
- мини-спектрометр МС-300/1800 с системой регистрации МОРС-1/3648/USB/FTDI;
- комплект программного обеспечения.

4. Проведение измерений спектральных параметров ЛЛД на установке SCLD-10-IR

4.1. Включение оборудования

- 4.1.1 включить подачу воды, которая предназначена для охлаждения элемента Пельтье. Вода должна проходить через фильтр грубой очистки, расход составляет 0,5 л/мин;
- 4.1.2 включить спектрометр и ПК;
- 4.1.3 установить выключатель «СЕТЬ» на задней панели БИПЛЛ-1 в положение «ВКЛ» (верхнее положение). При этом загорятся индикаторы на лицевой панели БИПЛЛ-1;

- 4.1.4 установить вид тока накачки, для чего перевести переключатель на лицевой панели БИПЛЛ-1 в одно из положений: «ИМП ТОК» (импульсный ток) или «ПОСТ ТОК» (постоянный ток) (рис.2 п.5);
- 4.1.5 установить переключатель «ВАХ» на лицевой панели БИПЛЛ-1 в положение «РУЧНОЙ» (рис.2 п.3);
- 4.1.6 установить необходимый диапазон регулировки тока накачки при помощи переключателя на лицевой панели БИПЛЛ-1 (рис.2 п.7); возможные варианты: 10А, 20А, 30А, 40А.
- 4.1.7 В случае измерения характеристик лазерных линеек в режиме импульсного тока установить требуемую длительность и частоту следования импульсов при помощи соответствующих кнопок на лицевой панели БИПЛЛ-1 (рис.2 п.1 и 2);
- 4.1.8 установить переключатель режима индикации на лицевой панели БСТ-1 в положение «ИЗМЕРИТЕЛЬ» (рис.1 п.3);
- 4.1.9 установить выключатель «СЕТЬ» на лицевой панели БСТ-1 в положение «1» (рис.1 п.1);
- 4.1.10 установить переключатель режима индикации на лицевой панели БСТ-1 в положение «ЗАДАТЧИК» (рис.1 п.3);
- 4.1.11 задать температуру стабилизации лазерной линейки при помощи кнопок на лицевой панели БСТ-1. Заданный режим можно сохранить, нажав и удерживая в течение двух-трех секунд кнопку «ЗАПИСЬ» на лицевой панели БСТ-1 (рис.1 п.5);
- 4.1.12 при помощи переключателя «ВКЛЮЧЕНИЕ СТАБИЛИЗАЦИИ» на передней панели прибора включить режим стабилизации температуры (рис.1 п.2);
- 4.1.13 установить переключатель режима индикации на лицевой панели БСТ-1 в положение «ИЗМЕРИТЕЛЬ» (рис.1 п.3) и дождаться установки заданной температуры лазерной линейки;
- 4.1.14 установить тумблер «ЛД. ВКЛ» на лицевой панели БИПЛЛ-1 в верхнее положение (рис.2 п.6), при этом загорится зеленый светодиод

над тумблером «ЛД. ВКЛ»;

4.1.15 при помощи ручек «ГРУБО» и «ТОЧНО» на лицевой панели БИПЛЛ-1 выставить требуемый ток накачки (рис.2 п.8). Ток накачки контролируется по показаниям индикатора «ТОК НАКАЧКИ ЛД».

4.1.16 произвести измерение спектральных характеристик лазерной линейки в соответствии с пунктом 6.2.

Примечания:

Контроль температуры лазерной линейки осуществляется по индикатору «ТЕМПЕРАТУРА ТЕПЛОТВОДА ЛД» на лицевой панели БИПЛЛ-1 (рис.2 п.9) и индикатору «ТЕМПЕРАТУРА» на лицевой панели БСТ-1 (рис.1 п.7).

При перегреве БИПЛЛ-1 происходит отключение подачи тока накачки и загорается светодиод «ПЕРЕГРЕВ УСТАНОВКИ» (рис.2 п.10). В случае перегрева необходимо подождать, чтобы прибор остыл (1-5 мин), после чего нажать клавишу «СБРОС», расположенную под индикатором перегрева (рис.2 п.11). При этом он автоматически восстановит ток через лазер.

В случае, если температуры воды в системе охлаждения превышает значение $+30^{\circ}\text{C}$, на передней панели блока БСТ-1 загорается светодиод «ПЕРЕГРЕВ ВОДЫ» (рис.1 п.6). В данной ситуации необходимо отключить ток накачки лазерной линейки, выключить режим стабилизации блока БСТ-1 и дождаться охлаждения воды в системе охлаждения (при этом светодиод «ПЕРЕГРЕВ ВОДЫ» погаснет).

Если БИПЛЛ-1 ведёт себя некорректно, необходимо отключить ток накачки и нажать клавишу «СБРОС» слева от индикатора длительности импульса на лицевой панели БИПЛЛ-1 (рис.2 п.12).

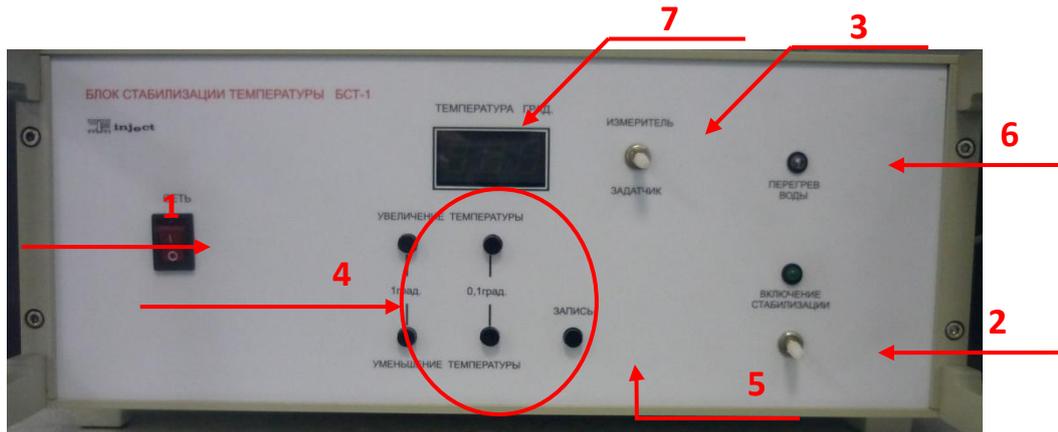


Рис. 1. Блок стабилизации температуры БСТ-1: п.1 – включение БСТ-1; п.2 – включение стабилизации; п.3 – переключатель ЗАДАТЧИК-ИЗМЕРИТЕЛЬ; п.4 – кнопки задания температуры; п.5 – запоминание температуры; п.6 – диод перегрева воды; п.7 – показатель температуры.

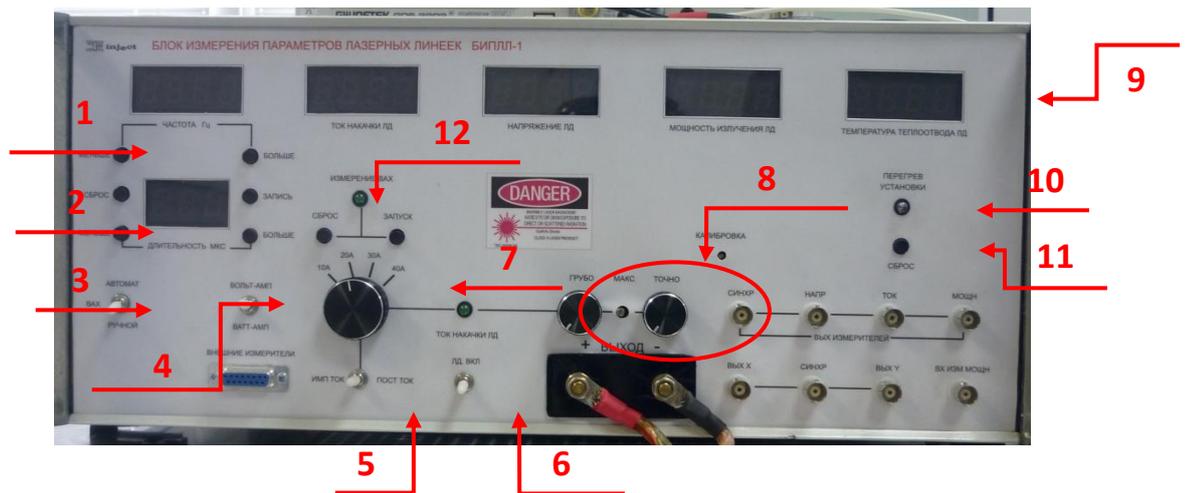


Рис. 2. Блок измерения параметров лазерной линейки БИПЛЛ-1: п.1 – установка частоты; п.2 – установка длительности импульсов; п.3 – переключатель измерения ВАХ (ручной/автомат); п.4 – переключатель характеристики измерения; п.5 – переключатель подачи тока; п.6 – включение/выключение подачи тока; п.7 – установка предельного значения тока; п.8 – точная настройка значения тока; п.9 – показатель температуры; п.10 – диод перегрева установки; п.11 – сброс температуры установки; п.12 – сброс настроек установок.

4.2. Проведение измерений

- 4.2.1 установить линейку лазерных диодов на элемент Пельтье (рис.3);
- 4.2.2 расположить спектрометр так, чтобы излучение ЛЛД было

- направлено на входную щель спектрального прибора, и провести юстировку, добившись на выходе регистрирующего устройства максимального сигнала;
- 4.2.3 настроить спектрометр и программу регистрации МОРС-1;
- 4.2.4 Файл – прочитать основной: прочитать ранее записанный файл в качестве основного, т.е. такого, над которым можно выполнять различные операции (колибровку, инверсию и т.д.);
- 4.2.5 Файл – прочитать репер: прочитать ранее созданный реперный файл. X-координатой с этого момента будет длина волны;
- 4.2.6 с помощью микрометрического винта на спектрометре установить участок исследуемого спектра (рис.4 п.1);
- 4.2.7 выполнить инициализацию системы, нажав кнопку ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ (рис.5 п.4);
- 4.2.8 установить параметры на главной панели программы МОРС-1;
- 4.2.9 зациклить (рис.5 п.1): программа снимает и отображает данные в цикле, остановить этот процесс можно при помощи кнопки СТОП;
- 4.2.10 автомасштаб по Y (рис.5 п.1): масштаб по оси Y выбирается автоматически;
- 4.2.11 вычитать фон (рис.5 п.2): перед отображением производится вычитание ранее снятого фона;
- 4.2.12 кнопкой СТАРТ выполнить запуск программы сканирования (рис.5 п.5);
- 4.2.13 снятие измерений:
- 4.2.14 при измерении длины волны излучения определяют показания спектрального прибора, соответствующее максимальной интенсивности сигнала на выходе регистрирующего устройства;
- 4.2.15 при измерении ширины линии излучения определяют расстояние между точками контура спектральной линии излучения, соответствующими половине интенсивности в максимуме;
- 4.2.16 при измерении огибающей спектра излучения определяют

расстояние между точками огибающей спектра, соответствующими половине интенсивности максимума огибающей.

4.2.17 сохранить полученные данные, выполнив следующую последовательность действий: Файл – Записать.

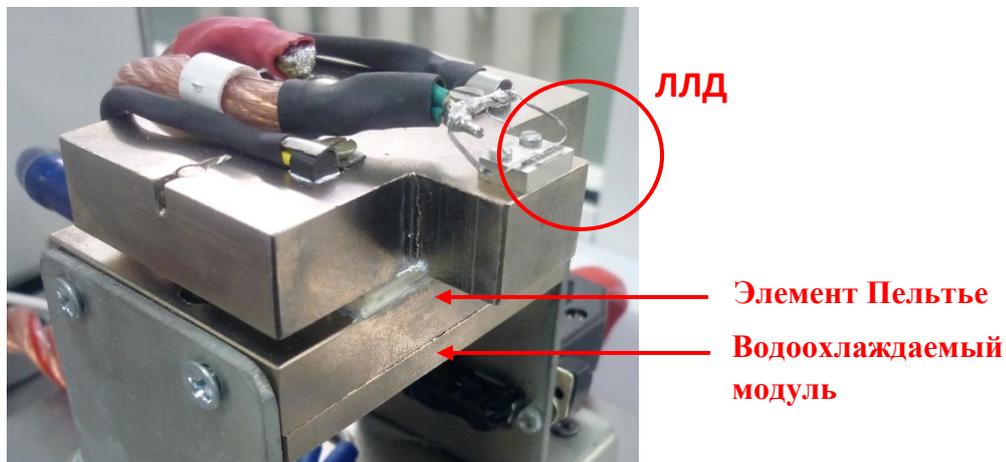


Рис. 3. Установка ЛЛД на элемент Пельтье



Рис. 4. Мини-спектрометр MS-300/1200



Рис. 5. Верхняя панель программы МОРС-1

4.3. Выключение оборудования

4.3.1 установить ручки «ГРУБО» и «ТОЧНО» на лицевой панели БИПЛЛ-1 в крайнее левое положение (рис.2 п.8);

- 4.3.2 установить тумблер «ЛД. ВКЛ» на лицевой панели БИПЛЛ-1 в нижнее положение (рис.2 п.6);
- 4.3.3 установить выключатель «СЕТЬ» на задней панели БИПЛЛ-1 в положение «ВЫКЛ»;
- 4.3.4 при помощи переключателя «ВКЛЮЧЕНИЕ СТАБИЛИЗАЦИИ» на передней панели прибора БСТ-1 выключить режим стабилизации температуры (рис.1 п.2);
- 4.3.5 установить переключатель режима индикации на лицевой панели БСТ-1 в положение «ЗАДАТЧИК» (рис.1 п.3);
- 4.3.6 установить выключатель «СЕТЬ» на задней панели БСТ-1 в положение «ВЫКЛ»;
- 4.3.7 отключить подачу воды;
- 4.3.8 Выключить ПК и спектрометр.

4.4. Задание на выполнение лабораторной работы

Блок стабилизации температуры БСТ-1 может поддерживать температуру ЛЛД в диапазоне от +10 °С до +30 °С. Для исследования температурной зависимости спектральных характеристик мощного полупроводникового излучателя от температуры выполнить следующие измерения:

1. установить значение тока накачки ЛЛД равным 25 А с помощью органов управления на передней панели БИПЛЛ-1. Нежим излучения – непрерывный (см. п. 4.1.4);
2. установить температуру статирования ЛЛД +10 °С. Дождаться установления требуемой температуры (показания индикатора температуры неизменны);
3. включить ток накачки линейки. Снова дождаться установления температуры;
4. из окна программы МОРС-1 определить длину волны λ_{\max} , соответствующую максимуму в спектре выходного излучения;

5. далее, меняя температуру с шагом $\Delta T = 1.0^\circ C$ и измеряя соответствующее значение λ_{\max} , заполнить следующую таблицу:

Температура, $^\circ C$	λ_{\max} , нм \downarrow	λ_{\max} , нм \uparrow	λ_{\max} , нм
+10.0			
+10.5			
...			
+29.5			
+30.0			

Измерение длины волны производить дважды: при увеличении и при уменьшении температуры. В качестве итоговой длины волны взять среднее значение.

Далее:

6. Построить график зависимости $\lambda_{\max}(T)$. Он должен иметь примерно следующий вид:

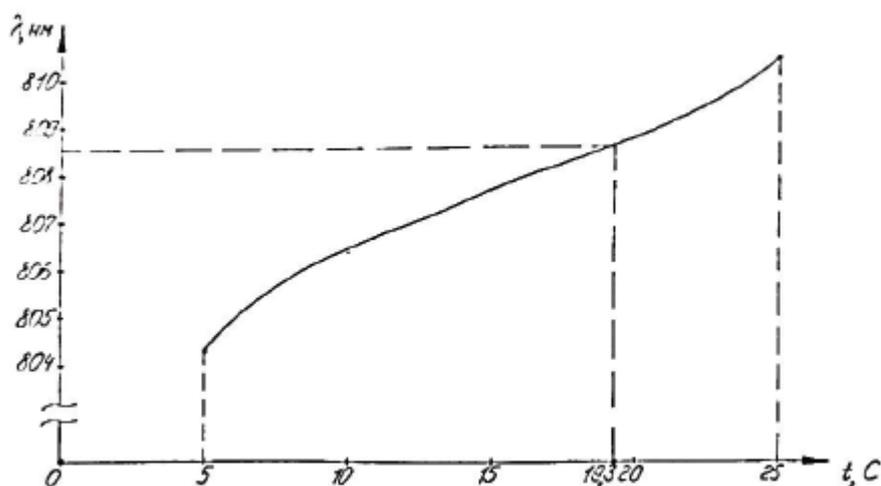


Рис. 3. Зависимость $\lambda_{\max}(T)$ для лазерного диода.

В среде matlab аппроксимировать данную зависимость по методу наименьших квадратов, используя полиномиальную аппроксимацию и встроенную функцию polyfit. Выставить температуру статирования ЛД T_{opt} , соответствующую длине волны 808.4 нм, попадающей в максимум полосы поглощения иона Nd^{3+} .

7. С помощью программы МОРС-1 получить спектр излучения ЛЛД для выбранного тока накачки. Для диапазона длин волн 804÷812 нм построить следующий график:

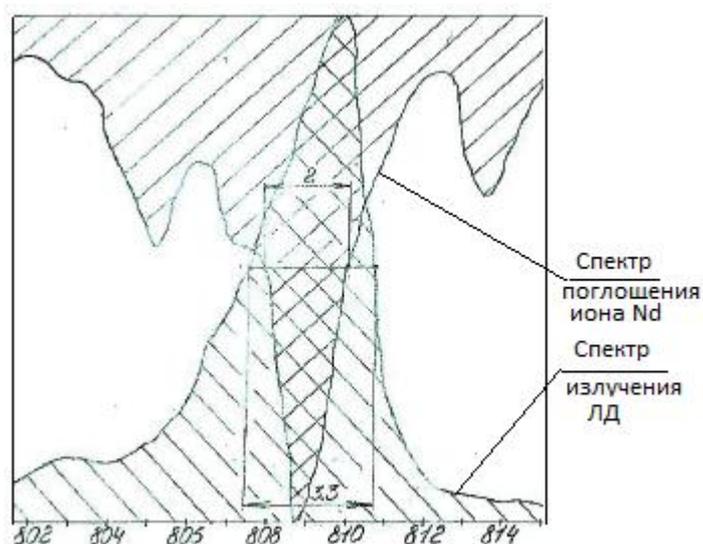


Рис. 4. Схема перекрытия спектров ЛД и поглощения иона Nd^{3+} .

По оси ординат – относительные величины с нормировкой на 1.

8. Выставить температуру статирования, равную T_{opt} (определена в п. 6). Далее получить спектры ЛЛД, меняя ток накачки последовательно 10, 20, 30 и 40 А.
9. Построить единый сравнительный график спектров выходного излучения для 4-х значений тока накачки. При установлении очередного значения тока убедиться в том, что температура статирования на индикаторе блока БСТ-1 неизменна. По оси абсцисс – длина волны в спектре, нм, диапазон 800-816 нм. По оси ординат – относительные единицы, максимум спектральной кривой для значения тока = 40 А нормируем на 1.

Контрольные вопросы к лабораторной работе

1. В чем состоит эффект Пельтье? Нарисуйте схематично конструкцию применяемой в данной установке термобатарей.
2. Почему термобатарея Пельтье в данной установке монтируется на водоохлаждаемом основании?

3. Каково значение температурного дрейфа максимальной длины волны в спектре излучения ЛД от температуры? Как данные, известные из литературных источников, согласуются с Вашими измерениями?
4. Что такое аппаратная функция спектрометра? Как экспериментально определить её для применяемого в данной работе мини-спектрометра МОРС-1?

Лабораторная работа №2

Методика измерения электрических и оптических параметров ЛЛД на установке IELD-8

1. Назначение установки IELD-8

Установка IELD-8 предназначена для измерения электрических и оптических параметров лазерных линеек: измерение ватт-амперной (зависимость оптической выходной мощности от величины тока накачки) и вольт-амперной (зависимость величины электрического напряжения от тока накачки) характеристик.

2. Характеристики установки IELD-8

Характеристики установки IELD-8 представлены в табл. 1

Таблица 1

Основные технические характеристики установки

Параметр	Значение	Единица измерения
Амплитуда изменения тока накачки	0.3 – 40	А
Длительность импульса тока накачки	50 – 500	мкс
Длительность фронта/спада импульса тока накачки	не более 20	мкс
Амплитуда выброса тока накачки	не более 5	%
Точность установки тока накачки	0.5	А
Максимальное выходное напряжение БИПЛЛ-1	не менее 5	В
Диапазон частот выходных импульсов тока накачки	1 – 1000	Гц

Выходная оптическая мощность	25 – 120	Вт
Спектральный диапазон	780-900	нм
Диапазон установки температуры стабилизации	не менее 10 – 30	°С
Стабилизация температуры	±1	°С
Диапазон рабочих температур	+10..+45	°С
Температура хранения	-20..+45	°С
Напряжение питания: однофазная сеть переменного тока частотой 50-60 Гц	220 ± 10%	В

3. Состав установки IELD-8

- блок измерения параметров лазерных линеек БИПЛЛ-1 с комплектом кабелей;
- водоохлаждаемый модуль, снабженный микрохолодильником Пельтье (далее МП), предназначенный для установки лазерной линейки;
- блок стабилизации температуры БСТ-1, предназначенный для управления водоохлаждаемым модулем;
- калиброванный фотоприемник (далее ФП);
- двухканальный цифровой запоминающий осциллограф;
- лабораторный стол.

4. Проведение измерений электрических параметров ЛЛД на установке IELD-8

4.1. Включение оборудования

4.1.1 включить подачу воды, которая предназначена для охлаждения элемента Пельтье. Вода должна проходить через фильтр грубой очистки, расход составляет 0,5 л/мин;

4.1.2 установить выключатель «СЕТЬ» на задней панели БИПЛЛ-1 в положение «ВКЛ» (верхнее положение). При этом загорятся

- индикаторы на лицевой панели БИПЛЛ-1;
- 4.1.3 установить вид тока накачки, для чего перевести переключатель на лицевой панели БИПЛЛ-1 в одно из положений: «ИМП ТОК» (импульсный ток) или «ПОСТ ТОК» (постоянный ток) (рис.2 п.4);
- 4.1.4 установить переключатель «ВАХ» на лицевой панели БИПЛЛ-1 в положение «РУЧНОЙ» (рис.2 п.3);
- 4.1.5 установить необходимый диапазон регулировки тока накачки при помощи переключателя на лицевой панели БИПЛЛ-1 (рис.2 п.7); возможные варианты: 10А, 20А, 30А, 40А;
- 4.1.6 в случае измерения характеристик лазерных линеек в режиме импульсного тока установить требуемую длительность и частоту следования импульсов при помощи соответствующих кнопок на лицевой панели БИПЛЛ-1 (рис.2 п.1 и 2);
- 4.1.7 установить переключатель режима индикации на лицевой панели БСТ-1 в положение «ИЗМЕРИТЕЛЬ» (рис.1 п.3);
- 4.1.8 установить выключатель «СЕТЬ» на лицевой панели БСТ-1 в положение «1» (рис.1 п.1);
- 4.1.9 установить переключатель режима индикации на лицевой панели БСТ-1 в положение «ЗАДАТЧИК» (рис.1 п.3);
- 4.1.10 задать температуру стабилизации лазерной линейки при помощи кнопок на лицевой панели БСТ-1 (рис.1 п.4). Заданный режим можно сохранить, нажав и удерживая в течение двух-трех секунд кнопку «ЗАПИСЬ» на лицевой панели БСТ-1 (рис.1 п.5);
- 4.1.11 при помощи переключателя «ВКЛЮЧЕНИЕ СТАБИЛИЗАЦИИ» на передней панели прибора включить режим стабилизации температуры (рис.1 п.2);
- 4.1.12 установить переключатель режима индикации на лицевой панели БСТ-1 в положение «ИЗМЕРИТЕЛЬ» (рис.1 п.3) и дождаться установки заданной температуры лазерной линейки;
- 4.1.13 установить тумблер «ЛД. ВКЛ» на лицевой панели БИПЛЛ-1 в

- верхнее положение (рис.2 п.6), при этом загорится зеленый светодиод над тумблером «ЛД. ВКЛ»;
- 4.1.14 при помощи ручек «ГРУБО» и «ТОЧНО» на лицевой панели БИПЛЛ-1 выставить требуемый ток накачки (рис.2 п.8). Ток накачки контролируется по показаниям индикатора «ТОК НАКАЧКИ ЛД».
- 4.1.15 Выбрать тип измеряемой характеристики установкой переключателя на лицевой панели БИПЛЛ-1 в положение «ВОЛЬТ-АМП» (для измерения вольт-амперной характеристики) или «ВАТТ-АМП» (для измерения ватт-амперной характеристики) (рис.2 п.4);
- 4.1.16 перевести переключатель «ВАХ» на лицевой панели БИПЛЛ-1 в положение «АВТОМАТ» (рис.2 п.3);
- 4.1.17 произвести измерение ВАХ лазерной линейки в соответствии с пунктом 6.2.

Примечания:

Контроль температуры лазерной линейки осуществляется по индикатору «ТЕМПЕРАТУРА ТЕПЛООТВОДА ЛД» на лицевой панели БИПЛЛ-1 (рис.2 п.9) и индикатору «ТЕМПЕРАТУРА» на лицевой панели БСТ-1 (рис.1 п.7).

При перегреве БИПЛЛ-1 происходит отключение подачи тока накачки и загорается светодиод «ПЕРЕГРЕВ УСТАНОВКИ» (рис.2 п.10). В случае перегрева необходимо подождать, чтобы прибор остыл (1-5 мин), после чего нажать клавишу «СБРОС», расположенную под индикатором перегрева (рис.2 п.11). При этом он автоматически восстановит ток через лазер.

В случае, если температуры воды в системе охлаждения превышает значение $+30^{\circ}\text{C}$, на передней панели блока БСТ-1 загорается светодиод «ПЕРЕГРЕВ ВОДЫ» (рис.1 п.6). В данной ситуации необходимо

отключить ток накачки лазерной линейки, выключить режим стабилизации блока БСТ-1 и дождаться охлаждения воды в системе охлаждения (при этом светодиод «ПЕРЕГРЕВ ВОДЫ» погаснет).

Если БИПЛЛ-1 ведёт себя некорректно, необходимо отключить ток накачки и нажать клавишу «СБРОС» слева от индикатора длительности импульса на лицевой панели БИПЛЛ-1 (рис.2 п.12).

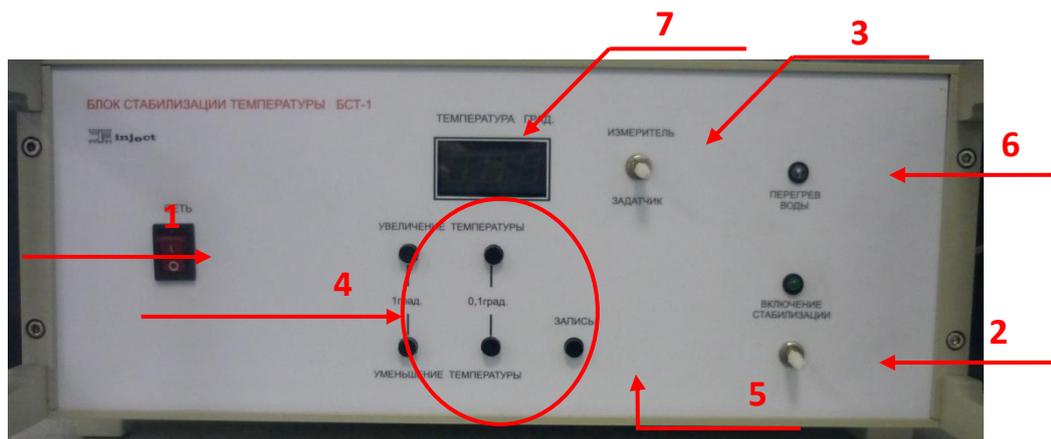


Рис. 1. Блок стабилизации температуры БСТ-1: п.1 – включение БСТ-1; п.2 – включение стабилизации; п.3 – переключатель ЗАДАТЧИК-ИЗМЕРИТЕЛЬ; п.4 – кнопки задания температуры; п.5 – запоминание температуры; п.6 – диод перегрева воды; п.7 – показатель температуры.

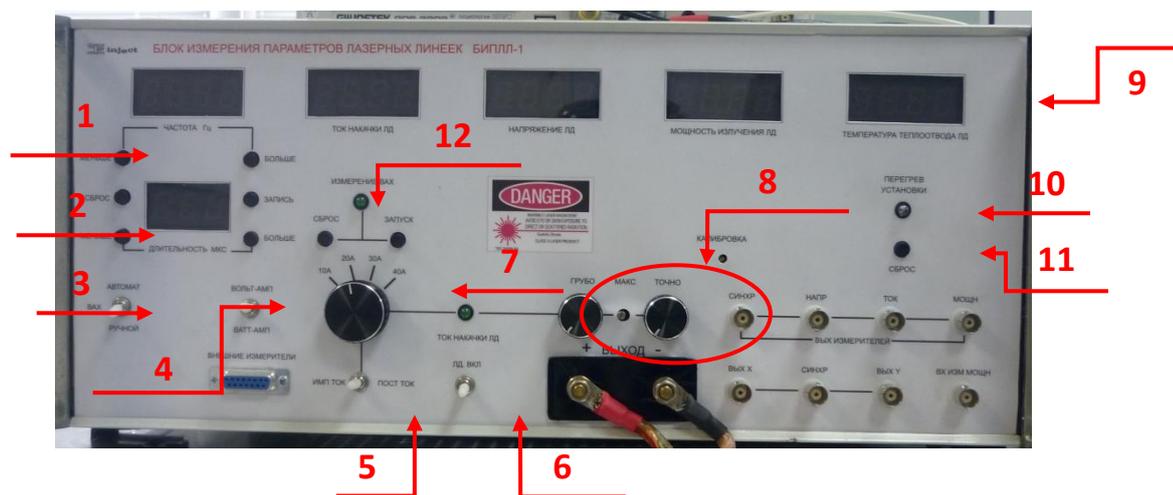


Рис. 2. Блок измерения параметров лазерной линейки БИПЛЛ-1: п.1 – установка частоты; п.2 – установка длительности импульсов; п.3 – переключатель измерения ВАХ (ручной/автомат); п.4 – переключатель характеристики измерения; п.5 – переключатель подачи тока; п.6 – включение/выключение подачи тока; п.7 – установка предельного значения тока; п.8 – точная настройка значения тока; п.9 – показатель температуры; п.10 – диод перегрева установки; п.11 – сброс температуры установки; п.12 – сброс настроек установок.

4.2. Проведение измерений

- 4.2.1 установить линейку лазерных диодов на элемент Пельтье (рис.3);
- 4.2.2 перемещением фотоприемника вдоль оси излучения ЛЛД выбрать оптимальное по чувствительности положение;
- 4.2.3 включить осциллограф нажатием клавиши «ВКЛ/ВЫКЛ» на лицевой панели;
- 4.2.4 вызвать предустановленный профиль настроек, для чего в следующей последовательности выбираем команды «ЗАП/ВЫЗ» → «Дальше» → «Вызвать профиль». Профиль настроек, задающий режим измерения зависимости «X» от «Y», находится в ячейке «S1». Нажать клавишу «Вызов»;
- 4.2.5 настроить диапазон измерения осциллографа по каналам, для чего установить на БИПЛЛ-1 максимальный измеряемый ток и при помощи ручек «ВОЛЬТ/ДЕЛ» на лицевой панели осциллографа отрегулировать положение точки таким образом, чтобы она находилась в правой верхней части экрана как можно ближе к углу;
- 4.2.6 сохранение данных производится на USB-носитель. USB флеш-диск вставить в USB разъем на передней панели осциллографа. Выбрать настройку записи последовательностью клавиш «Утилиты» → «Меню печати» → F1 (для сохранения изображения);
- 4.2.7 для очистки экрана осциллографа необходимо нажать «Дисплей» → «Обновление».

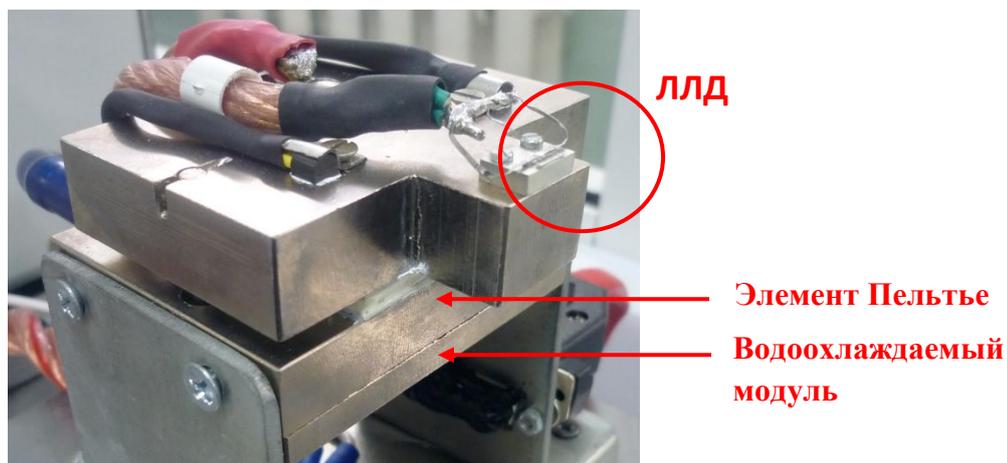


Рис. 3. Установка ЛЛД на элемент Пельтье

4.3. Выключение оборудования

4.3.9 установить ручки «ГРУБО» и «ТОЧНО» на лицевой панели БИПЛЛ-1 в крайнее левое положение (рис.2 п.8);

4.3.10 установить тумблер «ЛД. ВКЛ» на лицевой панели БИПЛЛ-1 в нижнее положение (рис.2 п.6);

4.3.11 установить выключатель «СЕТЬ» на задней панели БИПЛЛ-1 в положение «ВЫКЛ»;

4.3.12 при помощи переключателя «ВКЛЮЧЕНИЕ СТАБИЛИЗАЦИИ» на передней панели прибора БСТ-1 выключить режим стабилизации температуры (рис.1 п.2);

4.3.13 установить переключатель режима индикации на лицевой панели БСТ-1 в положение «ЗАДАТЧИК» (рис.1 п.3);

4.3.14 установить выключатель «СЕТЬ» на задней панели БСТ-1 в положение «ВЫКЛ»;

4.3.15 отключить подачу воды.

4.4. Задание на выполнение лабораторной работы

Измерение ватт-амперной и вольт-амперной характеристик ЛЛД производится одновременно.

1. установить с помощью органов управления БИПЛЛ-1 режим излучения – непрерывный (см. п. 4.1.4);
2. установить температуру статирования ЛЛД +20 °С. Дождаться установления требуемой температуры (показания индикатора температуры неизменны);
3. далее, регулируя ток накачки, заполнить следующую таблицу

Ток накачки, А	V , В	$P_{\text{вых}}$, Вт
$I = \text{round}(0.9I_{\text{пор}})$		
$I+1$		
...		
34.0		
35.0		

4. повторить измерения для температур статирования +25 °С +30 °С;
5. построить графики ватт-амперной и вольт-амперной характеристик ЛЛД для всех трёх значений температуры

Контрольные вопросы к лабораторной работе

1. В чем состоит эффект Пельтье? Нарисуйте схематично конструкцию применяемой в данной установке термобатареи.
2. Почему термобатарея Пельтье в данной установке монтируется на водоохлаждаемом основании?
3. Что такое пороговый ток накачки? Как экспериментально определить этот важнейший для ЛД параметр?
4. изобразите функциональную схему токового драйвера ЛЛД.

Лабораторная работа №3

Применение термостатирования ЛД с помощью эффекта Пельтье для точного совмещения спектра накачки со спектром поглощения Nd:YAG

Монокристалл Nd:YAG благодаря совокупности уникальных свойств (оптических, теплофизических, механических) уже в течение почти полувека используется в твердотельных лазерах самого различного назначения. Ниже для справки приведены графики, характеризующие спектроскопические свойства кристалла:

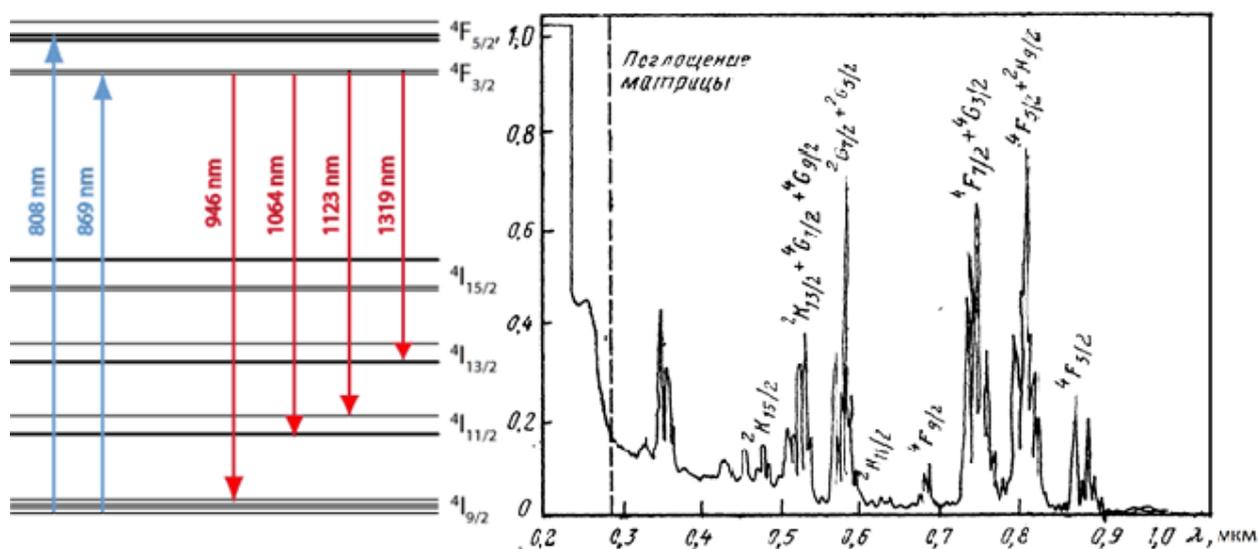


Рис. 1. Схема энергетических уровней и оптических переходов иона Nd³⁺ в матрице монокристалла YAG (слева) и спектр поглощения в широком спектральном диапазоне (справа).

При накачке лазерными диодами нас интересует только узкий участок спектра поглощения иона Nd в окрестности 800 нм. Поэтому рассмотрим эту часть спектра с более высоким разрешением:

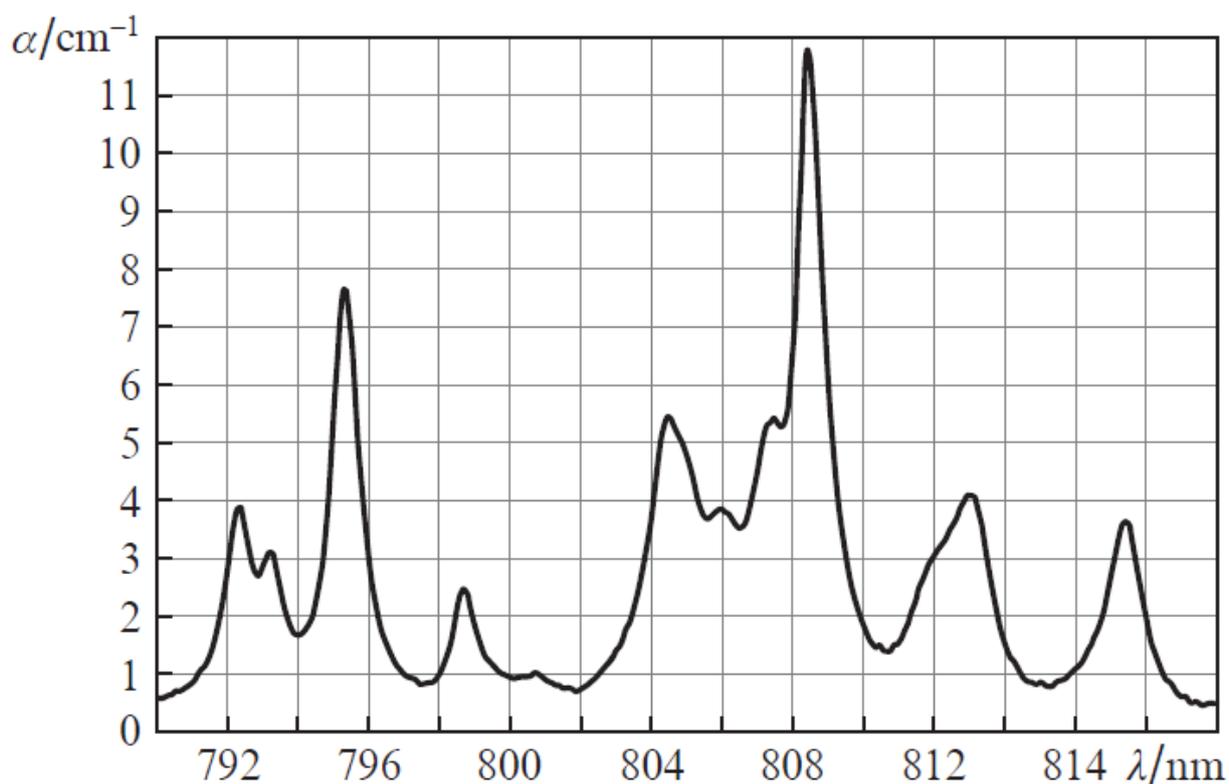


Рис. 2. Спектр поглощения иона Nd^{3+} в матрице монокристалла YAG в узком спектральном диапазоне вблизи основной полосы накачки 808 нм.

Как отмечалось ранее, положение спектра ЛД в сильной степени зависит от температуры. Для изучения температурной зависимости положения центральной длины волны ЛД от температуры и методов согласования спектра излучения накачки со спектром поглощения активной среды в данной работе предлагается использовать экспериментальную установку, показанную ниже:

Источником ИК- излучения является относительно мощный диод серии АТС-С-xxx-xxx, установленный на радиатор системы охлаждения. Технические характеристики диода приведены в приложении 1 к лабораторной работе. Излучатель многожильным кабелем соединён с системой управления Laser Diode Driver LDD-9. Этот электронный блок с микропроцессорным управлением выполняет две основные функции: задаёт и стабилизирует ток накачки ЛД, а также осуществляет температурную стабилизацию последнего. Подробности

регулирования параметров I_{LD} и T_{LD} изложены в соответствующем руководстве (см. Приложение 2).

Для наблюдения спектра генерации служит портативный спектрометр ASP100 (производство ООО «Авеста-Проект»). Работа со спектрометром и программой ReSpect, служащей для управления им, даны в приложении 3.

4.4. Задание на выполнение лабораторной работы

Драйвер полупроводникового лазера LLD-9 позволяет регулировать температуру ЛД в диапазоне от +5 °С до +30 °С. Поэтому на первом этапе производится следующий эксперимент:

1. установить значение тока накачки ЛД равным 1.25 А с помощью органов управления на передней панели LLD-9;
2. установить температуру статирования ЛД +5 °С. Дождаться установления требуемой температуры (показания индикатора температуры неизменны);
3. включить ЛД. Снова дождаться установления температуры;
4. из окна программы ReSpect определить длину волны λ_{max} , соответствующую максимуму в спектре выходного излучения;
5. далее, меняя температуру с шагом $\Delta T = 0.5^\circ C$ и измеряя соответствующее значение λ_{max} , заполнить следующую таблицу:

Температура, °С	λ_{max} , нм ↓	λ_{max} , нм ↑	λ_{max} , нм
+5.0			
+5.5			
...			
+29.5			
+30.0			

Измерение длины волны производить дважды: при увеличении и при уменьшении температуры. В качестве итоговой длины волны взять среднее значение.

Далее:

6. Построить график зависимости $\lambda_{\max}(T)$. Он должен иметь примерно следующий вид:

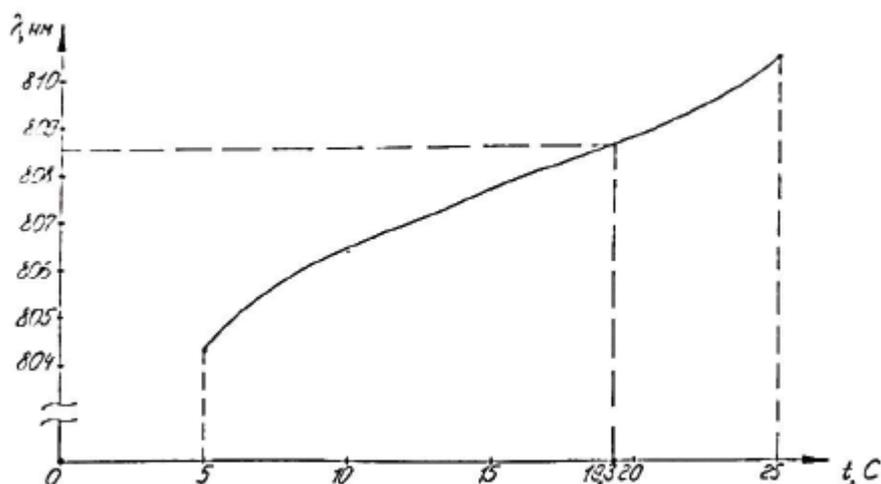


Рис. 3. Зависимость $\lambda_{\max}(T)$ для лазерного диода.

В среде matlab аппроксимировать данную зависимость по методу наименьших квадратов, используя полиномиальную аппроксимацию и встроенную функцию polyfit. Выставить температуру статирования ЛД T_{opt} , соответствующую длине волны 808.4 нм, попадающей в максимум полосы поглощения иона Nd^{3+} .

7. С помощью спектрометра ASP100 получить спектр излучения диода. Для диапазона длин волн 804÷812 нм построить следующий график:

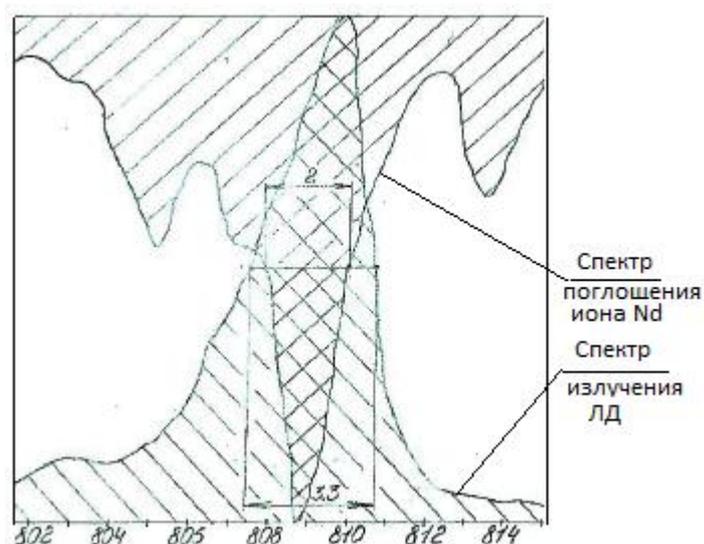


Рис. 4. Схема перекрытия спектров ЛД и поглощения иона Nd^{3+} .

По оси ординат – относительные величины с нормировкой на 1.

Контрольные вопросы к лабораторной работе

1. Как следует из рис. 1, ион Nd^{3+} в матрице YAG может обеспечить генерацию на длинах волн 946, 1064, 1023 и 1319 нм. Однако в подавляющем большинстве случаев излучается длина волны 1.064 мкм. Почему? Как настроить спектр на иные длины волн?
2. Можно ли кристалл YAG:Nd^{3+} накачивать излучением с длиной волны ~ 520 нм?
3. Каковы перспективы накачки YAG:Nd^{3+} на 869 или 885 нм? Почему такая накачка реализуется труднее в техническом плане, чем накачка на традиционной длине волны 808 нм?
4. Каково значение температурного дрейфа максимальной длины волны в спектре излучения ЛД от температуры? Как данные, известные из литературных источников, согласуются с Вашими измерениями?
5. Что такое аппаратная функция спектрометра? Как экспериментально определить её для применяемого в данной работе мини-спектрометра ASP100?

Библиографический список

1. И.В. Глухих, С.С. Поликарпов, С.В. Фролов, А.С. Волков, В.В. Привезенцев «Охлаждение лазерных диодных сборок конструкции Silver Bullet», *Журнал технической физики*, 2010, **80**, № 6, стр. 101-105
2. И.В. Глухих, С.А. Димаков, Р.Ф. Курунов, С.С. Поликарпов, С.В. Фролов «Мощные твердотельные лазеры на Nd:YAG с поперечной накачкой и улучшенным качеством излучения», *Журнал технической физики*, 2011, **81**, № 8, стр. 70-75