

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

**«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»  
(ТУСУР)**

**Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга  
(РЭТЭМ)**

УТВЕРЖДАЮ

Декан РКФ

\_\_\_\_\_ Д.В. Озеркин

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

**КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОДИОДНЫХ КРИСТАЛЛОВ**  
Учебно-методические указания для выполнения лабораторных работ для  
магистрантов

Разработали:

Заведующий каф. РЭТЭМ

\_\_\_\_\_ В.И. Туев

Доцент каф. РЭТЭМ

\_\_\_\_\_ В.С. Солдаткин

Ассистент каф. РЭТЭМ

\_\_\_\_\_ Ю.В. Юлаева

Томск 2018

Туев В.И., Солдаткин В.С., Ряполова Ю.В. Контроль параметров светодиодных кристаллов: Учебно-методические указания для выполнения лабораторных работ. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2018. – 16 с.

Настоящее учебно-методические указания для выполнения лабораторных работ магистрантами составлены с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 11.04.03 Конструирование и технология электронных средств и 27.04.04 Управление в технических системах. Учебно-методические указания для выполнения лабораторных работ предназначены для магистрантов, изучающих специальные дисциплины «Технология изготовления светодиодных кристаллов», «Управление в светотехнических системах» и содержит описание трёх лабораторных работ.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Требования безопасности.....	4
2. Лабораторная работа №1.....	7
3. Лабораторная работа №2.....	10
4. Лабораторная работа №3.....	12
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	15

## 1 Требования безопасности

Перед началом лабораторных работ студенты должны получить инструктаж по технике безопасности в лаборатории и ознакомиться с правилами эксплуатации приборов и другого оборудования, используемого при выполнении работ. Инструктаж проводит преподаватель, ведущий занятия. После проведения инструктажа студент расписывается в регистрационном журнале о том, что он ознакомлен с правилами безопасной работы в лаборатории и обязуется их выполнять. Студенты не прошедшие инструктаж к работе не допускаются. Студенты, замеченные в нарушении настоящих правил, отстраняются от выполнения лабораторных работ.

### 1.1 Требования безопасности перед началом и окончанием работы

Каждый студент должен:

1. Знать расположение общих рубильников силовой сети напряжением 220 вольт, частотой 50 Гц для того, чтобы в случае необходимости быстро отключить питание от лабораторных установок;
2. Изучить описание лабораторной работы и инструкции к используемым приборам;
3. Ознакомиться с макетом установки;
4. Проверить наличие заземления на каждом приборе, подлежащем заземлению. В случае отсутствия заземления сообщить об этом преподавателю или зав. лабораторией.

#### 1.1.1 Запрещается:

- Включать в сеть приборы, вращать ручки настройки без разрешения преподавателя;
- Переставлять приборы из установки;
- Разбирать схемы, вскрывать приборы и т.д.;
- Начинать проведение эксперимента без разрешения преподавателя;

- Загромождать рабочее место и установку одеждой, сумками и др. посторонними предметами.

Перед началом эксперимента получить допуск у преподавателя.

В присутствии преподавателя включить приборы, входящие в установку, в соответствии с инструкциями к приборам и описанием лабораторной работы. Если приборы не работают, сообщить об этом преподавателю или зав. лабораторией.

При нарушении нормальной работы прибора (зашкаливание, характерный запах горелого и т.п.) немедленно отключить прибор и сообщить об этом преподавателю или зав. лабораторией;

1.1.2 Запрещается:

- Работать с незаземленными и неисправными приборами.
- Самим проводить устранение неисправностей.
- Оставлять без наблюдения включенные приборы.

Если работа выполнена полностью и правильно, то по указанию преподавателя выключить приборы в соответствии с инструкцией и привести в порядок рабочее место.

1.2 Требования безопасности в аварийных ситуациях

1. При появлении запаха гари, дыма или возгорания принять меры по обнаружению источника возгорания и его ликвидации;

2. В случае пожара обесточить помещение, вызвать по телефону 01 пожарную охрану, произвести эвакуацию людей, сообщить администрации о случившемся и приступить к тушению пожара с помощью имеющихся средств пожаротушения;

3. В случае поражения человека электрическим током, необходимо быстро освободить пострадавшего от действия тока. Вызвать врача. Если пострадавший находится без сознания, то нужно привести его в сознание, давая нюхать нашатырный спирт, если пострадавший плохо дышит, начать

делать искусственное дыхание и массаж сердца и продолжать их делать до прибытия врача;

4. В случае затопления помещения водой необходимо обесточить помещение, вызвать сантехника, вынести ценное оборудование и при необходимости сообщить администрации о случившемся.

### 1.3 Порядок оформления работ

В процессе выполнения лабораторной работы студент должен наблюдать за ходом эксперимента, отмечая все его особенности: изменение цвета, тепловые эффекты, выделение газа и т.д. Результаты наблюдений записывают в лабораторный журнал, придерживаясь определенной последовательности:

- название лабораторной работы, дата выполнения;
- цель работы;
- краткая теория вопроса;
- результаты эксперимента;
- выводы по результатам работы.

Записи в лабораторном журнале производят чернилами.

Отчет оформляется в соответствии с требованиями ОС ТУСУР 01 – 2013.

## 2 Лабораторная работа №1. Контроль параметров светодиодных кристаллов

**Цель работы:** овладение навыками контроля параметров светодиодных кристаллов, навыками контроля и анализа основных параметров полупроводниковых наногетероструктур, сопоставления параметров с мировыми достижениями в данной области и оценку применимости в технологическом процессе изготовления светодиодных кристаллов и светодиодов на их основе.

**Задача:** исследование зависимости спектра излучения кристалла от толщины запрещённой зоны полупроводниковой структуры.

### 2.1 Оборудование:

1. Спектроколориметр «ТКА-ВД» Предназначен для измерения спектральных характеристик источников оптического излучения. В зависимости от конфигурации входного устройства прибор работает как в режиме яркомера или в режиме измерения освещенности.

Основные технические характеристики:

- диапазоны измерения:
  - освещенности, лк (10 - 200 000);
  - яркости, кд/м<sup>2</sup> (10 - 20 000);
  - цветовой температуры, К (1600 - 16 000);
- предел допустимого значения основной относительной погрешности измерения:
  - освещенности, %  $\pm 10,0$ ;
  - яркости, %  $\pm 10,0$ ;
- пределы допустимого значения абсолютной погрешности измерения координат цветности x, y, не более:
  - тепловых источников  $\pm 0,005$ .

2. Источники питания MPS 3003

Основные технические характеристики:

Многооборотный регулятор для точной установки напряжения, последовательное и параллельное соединение 2х каналов: автотрекинг, 2-х полярный выход, режимы работы: стабилизация тока, напряжения и динамическая нагрузка, индикация: 3-разрядные LED-дисплеи на ток и напряжение, защита от перегрузки и переполусовки, электронное отключение нагрузки 2 вентилятора охлаждения, включен в Госреестр средств измерений, регистрационный номер 32050-06.

- выходное напряжение 30 В.
- ток 3 А.
- уровень пульсаций 1 мВ.
- количество каналов 2 + 1.
- дополнительный канал 5В/3А.
- точность установки 0.1В/0.01А.
- влияние нагрузки 0.01% ±3мВ.
- влияние сетевое напряжения 0.01% ±3мВ.

3. Цифровой миллиамперметр.

## 2.2 Задание на лабораторную работу

1. Собрать схему включения светодиода с источником питания и миллиамперметром.
2. На источнике питания установить стабилизацию по значению прямого тока.
3. На источнике питания задать ток, при котором у светодиода начинается свечение (выдержать в течении 5 минут для термостабилизации), измерить значение прямого напряжения и спектроколориметром измерить спектр излучения, данные сохранить в протокол.
4. Проводя измерения величин по п.3, повышать значение тока с шагом 1 мА.
5. Построить график ВАХ и зависимости пиковой длины волны

излучения от прямого тока.

6. Повторить измерения аналогично для светодиодов с разной запрещённой зоной.

7. Ответить на контрольные вопросы преподавателя и написать отчёт.

### 3 Лабораторная работа №2. Исследование сопротивления омических контактов кристалла

**Цель работы:** овладение навыками контроля параметров светодиодных кристаллов, навыками контроля и анализа основных параметров полупроводниковых наногетероструктур, сопоставления параметров с мировыми достижениями в данной области и оценку применимости в технологическом процессе изготовления светодиодных кристаллов и светодиодов на их основе.

**Задача:** исследование сопротивления омических контактов кристалла.

#### 3.1 Оборудование:

1. Микроскоп МБС – 10.
2. Источники питания MPS 3003

Основные технические характеристики:

Многооборотный регулятор для точной установки напряжения, последовательное и параллельное соединение 2х каналов: автотрекинг, 2-х полярный выход, режимы работы: стабилизация тока, напряжения и динамическая нагрузка, индикация: 3-разрядные LED-дисплеи на ток и напряжение, защита от перегрузки и переплюсовки, электронное отключение нагрузки 2 вентилятора охлаждения, включен в Госреестр средств измерений, регистрационный номер 32050-06.

- выходное напряжение 30 В.
- ток 3 А.
- уровень пульсаций 1 мВ.
- количество каналов 2 + 1.
- дополнительный канал 5В/3А.
- точность установки 0.1В/0.01А.
- влияние нагрузки 0.01% ±3мВ.

- влияние сетевое напряжения  $0.01\% \pm 3\text{мВ}$ .

3. Цифровой миллиамперметр.
4. Зондовая станция.
5. Соединительные провода.
6. Окуляр для микроскопа с измерительной шкалой.
7. Светодиодные кристаллы.

### 3.2 Задание на лабораторную работу

1. Установить светодиодный кристалл под микроскоп.
2. Установить контакты зондовой станции на омические контакты светодиодного кристалла.
3. Провести измерение сопротивления, данные в протокол.
4. Повторить измерения аналогично для светодиодов с разной запрещённой зоной.
5. Ответить на контрольные вопросы преподавателя и написать отчёт.

#### 4 Лабораторная работа №3. Исследование оптических, механических и электрических характеристик кристалла

**Цель работы:** овладение навыками контроля параметров светодиодных кристаллов, навыками контроля и анализа основных параметров полупроводниковых наногетероструктур, сопоставления параметров с мировыми достижениями в данной области и оценку применимости в технологическом процессе изготовления светодиодных кристаллов и светодиодов на их основе.

**Задача:** исследование оптических, механических и электрических характеристик кристалла.

##### 4.1 Оборудование:

1. Спектроколориметр «ТКА-ВД» Предназначен для измерения спектральных характеристик источников оптического излучения. В зависимости от конфигурации входного устройства прибор работает как в режиме яркомера или в режиме измерения освещенности.

Основные технические характеристики:

- диапазоны измерения:
  - освещенности, лк (10 - 200 000);
  - яркости, кд/м<sup>2</sup> (10 - 20 000);
  - цветовой температуры, К (1600 - 16 000);
- предел допустимого значения основной относительной погрешности измерения:
  - освещенности, %  $\pm 10,0$ ;
  - яркости, %  $\pm 10,0$ ;
- пределы допустимого значения абсолютной погрешности измерения координат цветности x, y, не более:
  - тепловых источников  $\pm 0,005$ .

## 2. Источники питания MPS 3003

Основные технические характеристики:

Многооборотный регулятор для точной установки напряжения, последовательное и параллельное соединение 2х каналов: автотрекинг, 2-х полярный выход, режимы работы: стабилизация тока, напряжения и динамическая нагрузка, индикация: 3-разрядные LED-дисплеи на ток и напряжение, защита от перегрузки и переполусовки, электронное отключение нагрузки 2 вентилятора охлаждения, включен в Госреестр средств измерений, регистрационный номер 32050-06.

- выходное напряжение 30 В.
- ток 3 А.
- уровень пульсаций 1 мВ.
- количество каналов 2 + 1.
- дополнительный канал 5В/3А.
- точность установки 0.1В/0.01А.
- влияние нагрузки 0.01% ±3мВ.
- влияние сетевое напряжения 0.01% ±3мВ.

3. Микроскоп МБС – 10.

4. Цифровой миллиамперметр.

5. Зондовая станция.

6. Соединительные провода.

7. Светодиодные кристаллы.

### 4.2 Задание на лабораторную работу

1. Установить светодиодный кристалл под микроскоп.
2. Установить контакты зондовой станции на омические контакты светодиода кристалла.
3. На источнике питания установить стабилизацию по значению прямого тока.
4. На источнике питания задать ток, при котором у светодиода

начинается свечение (выдержать в течении 5 минут для термостабилизации), измерить значение прямого напряжения и спектроколориметром измерить спектр излучения, освещённости и цветовые координаты, данные сохранить в протокол.

5. Проводя измерения величин по п.3, повышать значение тока с шагом 1 мА до значения, когда на ВАХ начнётся существенный рост прямого напряжения.

6. Построить график ВАХ, зависимости пиковой длины волны излучения и освещённости от прямого тока.

7. Ответить на контрольные вопросы преподавателя и написать отчёт.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Светодиоды : Пер. с англ. / А. И. Берг, П. Дин; Ред. и предисл. А. Э. Юнович. - М. : Мир, 1973. - 98[2] с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 4 экз.)
2. Физика полупроводниковых приборов : пер. с англ.: В 2 кн. / С. М. Зи; Пер. В. А. Гергель, Пер. Н. В. Зыков, Пер. Р. З. Хафизов, Ред. Пер. Р. А. Сурис. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Мир, 1984 - Кн. 2. - М. : Мир, 1984. - 456 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 15 экз.)
3. Технология сборки и монтажа мощных светоизлучающих изделий: Учебное пособие / Туев В. И., Солдаткин В. С., Вилисов А. А., Старосек Д. . - 2016. 48 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6600>, свободный.
4. Физические основы оптоэлектроники: Учебное пособие имеет гриф СибРУМЦ «Для межвузовского использования» / Давыдов В. Н. - 2016. 139 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/publications/5963>, свободный.
5. Полупроводниковая светотехника: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 211000.62 – Конструирование и технология электронных средств / Туев В. И., Солдаткин В. С., Вилисов А. А. - 2015. 46 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/publications/5458>, свободный.
6. Нанотехнологии в полупроводниковой электронике: Коллективная монография / Российская Академия наук, Сибирское отделение, Институт физики полупроводников; ред. А.Л. Асеев. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2004. – 367 (наличие в библиотеке ТУСУР - 10 экз.)
7. Интегральные устройства радиоэлектроники. Часть 1. Основные структуры полупроводниковых интегральных схем: Учебное пособие / Романовский М. Н. - 2012. 123 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/1304>, свободный.

8. Единая система технологической документации: Справочное пособие / Е.А. Лобода, В.Г. Мартынов, Б.С. Мендриков и др. – М.: Издательство стандартов, 1992. - 325 с. (наличие в библиотеке ТУСУР - 5 экз.)

9. Технология сборки и монтажа мощных светоизлучающих изделий, технологии корпусирования светодиодов белого цвета: Методические указания по практической и самостоятельной работе / Солдаткин В. С., Туев В. И., Вилисов А. А., Каменкова В. С. - 2016. 19 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6616>, свободный.

10. Технология сборки и монтажа мощных светоизлучающих изделий: Учебно- методические указания для выполнения лабораторных работ для магистрантов / Солдаткин В. С., Вилисов А. А., Туев В. И. - 2016. 16 с. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/6584>, свободный.