

Белорусский государственный университет



## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИСТОЧНИКИ ИЗЛУЧЕНИЯ

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:

1-31 04 02      Радиофизика

2015 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта Радиопизика ОСВО 1-31 04 02-2013 и учебного плана №G 31-164/уч. от 30.05.2013 г.

### **СОСТАВИТЕЛИ:**

В. К. Кононенко, профессор кафедры квантовой радиопизики и оптоэлектроники, д-р физ.-мат. наук, профессор;

К. Н. Коростик, доцент кафедры квантовой радиопизики и оптоэлектроники, канд. физ.-мат. наук, доцент.

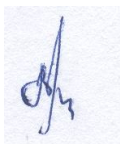
### **РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой                      Квантовой радиопизики и оптоэлектроники \_\_\_\_\_

(протокол № 5 от 08.12.2015);

Советом факультета Радиопизики и компьютерных технологий

(протокол № 4 от 22.12.2015)



## **ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

### **ХАРАКТЕРИСТИКА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Учебная программа по учебной дисциплине «Полупроводниковые источники излучения» разработана для студентов специализации «Квантовая радиофизика и лазерные системы» специальности «Радиофизика» в соответствии с требованиями образовательного стандарта ОСВО 1-31 04 02-2013 и учебного плана вышеуказанной специальности.

Актуальность изучения учебной дисциплины определяется необходимостью детального знакомства специалистов с методами контроля параметров и характеристик, аппаратурой накачки и применением управляемых полупроводниковых лазеров в информационно-измерительных системах. Данная дисциплина является составной частью блока специальных дисциплин, обеспечивающих необходимые знания, умения и навыки в области создания и эксплуатации современной лазерной и оптико-электронной техники различного назначения.

### **ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ, РОЛЬ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Цель учебной дисциплины: ознакомление с основными методами контроля характеристик, аппаратурой накачки и особенностями применения управляемых полупроводниковых лазеров в информационно-измерительных системах.

Задачи учебной дисциплины:

- приобретение знаний о методах исследования характеристик полупроводниковых лазеров, в том числе и об экспресс-методах их контроля;
- формирование навыков разработки информационно-измерительных систем на основе управляемых полупроводниковых источников излучения и работы с ними.

Базовыми учебными дисциплинами по курсу «Полупроводниковые источники излучения» являются дисциплины «Оптика» и «Электричество», где излагаются основы формирования электрических полей и светового излучения на физическом уровне. В свою очередь учебная дисциплина «Полупроводниковые источники излучения» освещает круг вопросов, связанных с особенностями и конкретным применением полупроводниковых лазеров. Для успешного усвоения дисциплины необходимы знания по оптоэлектронике, технике приема светового излучения, статистической радиофизике.

### **ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате изучения учебной дисциплины «Полупроводниковые источники излучения» формируются следующие компетенции:

**академические:**

- использовать основные законы естественно-научных дисциплин в профессиональной деятельности.
- владеть основными методами, способами и средствами для создания информационно-измерительных систем нового поколения.

**профессиональные:**

- определять и оценивать параметры и характеристики полупроводниковых источников излучения;
- владеть приемами создания лазерных систем на основе полупроводниковых лазеров.

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

**знать:**

- методы и технику исследования характеристик полупроводниковых лазеров;
- способы формирования электрических сигналов для возбуждения и управления параметрами полупроводниковых лазеров как в непрерывном, так и в импульсном режимах;

**уметь:**

- проектировать информационно-измерительные системы на основе управляемых полупроводниковых лазеров для решения физических и технических задач;

**владеть:**

- методами оптимизации режимов работы полупроводниковых лазеров в составе информационно-измерительные системы на основе управляемых полупроводниковых лазеров для обеспечения заданных характеристик этих систем.

Объем дисциплины составляет 130 учебных часов, в том числе 62 аудиторных часов, из них лекции – 34, лабораторные работы – 28.

Курс читается в шестом семестре. Форма получения образования очная. Форма текущей аттестации – зачет.

### **Содержание учебного материала.**

**1. Оптические свойства и параметры полупроводников.** Зонная структура полупроводников, лазерные полупроводниковые материалы. плотность состояний, распределение электронов по зонам. Прямые межзонные излучательные переходы. Спектры поглощения-усиления и люминесценции в зависимости от уровня возбуждения. Время жизни носителей тока. Доноры и акцепторы, влияние легирования полупроводника на энергетический спектр электронов. Механизм излучательной рекомбинации без правила отбора.

**2. Энергетические характеристики инжекционных лазеров.** Краткая история создания инжекционных лазеров. Типы лазерных полупроводниковых структур. Токовое соотношение. Порог генерации, условие инверсной заселенности уровней. Волноводная структура активной области лазерных диодов, параметр оптического ограничения. Мощность

генерации. Внутренние лазерные параметры. Оптимальные условия генерации и КПД лазерных диодов. Зависимость порога генерации от температуры. Разновидности деградации лазеров.

**3. Динамика и спектры генерации.** Кинетические уравнения, установление стационарного режима генерации. Время задержки генерации. Динамические режимы работы лазеров. Модовый состав генерируемого излучения. Ширина линии испускания. Нелинейные оптические процессы, насыщение поглощения и усиления света, нелинейная рефракция в полупроводниках. Жесткий режим генерации.

**4. Квантоворазмерные эффекты.** Размерное квантование в тонких пленках. Типы лазерных гетероструктур на квантовых ямах. Особенности энергетических характеристик квантоворазмерных лазеров. Лазерные структуры типа квантовой проволоки и квантовой ячейки. Лазеры с вертикальным резонатором и поверхностным излучением. Квантоворазмерные лазеры на межподзонных переходах. Принципы зонной инженерии.

**5. Методы контроля параметров полупроводниковых лазеров.** Математическая модель инжекционного лазера для интерпретации его электрических и динамических характеристик. Методы контроля электрических параметров полупроводниковых источников излучения. Традиционные методы контроля характеристик излучения полупроводниковых лазеров. Понятие об экспресс-методах контроля характеристик полупроводниковых лазеров. Экспресс-контроль порогового тока и быстродействия полупроводниковых лазеров. Экспресс-контроль быстродействия полупроводниковых лазеров на основе рециркуляции близко расположенных импульсов.

**6. Методы стабилизации и управления характеристиками полупроводниковых лазеров.** Аппаратура управления мощностью излучения. Простейшие методы стабилизации мощности излучения. Системы стабилизации мощности излучения с фотоэлектрической обратной связью в непрерывном режиме генерации. Временная дискриминация импульсных сигналов. Стабилизация мощности импульсного излучения полупроводниковых лазеров. Многоконтурные системы стабилизации. Стабилизация энергии импульсного излучения полупроводниковых лазеров.

**7. Рециркуляционные измерительные системы на основе полупроводниковых лазеров.** Полупроводниковые лазеры в светодальнометрии. Обобщенная функциональная схема оптоэлектронной рециркуляционной системы на основе инжекционного лазера. Источники временной нестабильности в оптоэлектронных рециркуляционных системах. Рециркуляционные дальнометры. Оптоэлектронные запоминающие системы рециркуляционного типа, проблемы и перспективы их применения.

### Учебно-методическая карта

| Номер раздела, темы, занятия | Название раздела, темы  | Количество аудиторных часов |                      |                      |     | Иное | Литература   | Формы контроля знаний        |
|------------------------------|---|-----------------------------|----------------------|----------------------|-----|------|--|------------------------------|
|                              |   | лекции                      | Практические занятия | лабораторные занятия | УСР |      |  |                              |
| 1                            | 2   | 3                           | 4                    | 5                    | 6   | 7    | 8  | 9                            |
| 1.                           | Оптические свойства и параметры полупроводников.  | 4                           |                      |                      |     |      | Л.1, с. 48-51; 92-99;<br>Л.2, с. 38-53;<br>Л.3, с. 8-17.                 | устный опрос                 |
| 2.                           | Энергетические характеристики инжекционных лазеров.   | 4                           |                      |                      |     |      | Л.1, с. 90-107, 121-137, 275-292; Л.2, с. 139-157, 167-185.              | Отчет по лабораторной работе |
|                              | Лаб. работа «Исследование выходных пространственных и мощностных характеристик квантоворазмерных гетеролазеров» |                             |                      | 6                    |     |      |  |                              |
| 3.                           | Динамика и спектры генерации.   | 4                           |                      |                      |     |      | Л.2, с. 201-276; Л.11, с. 215-242; Л.12, с. 143-148.                     | Отчет по лабораторной работе |
|                              | Лаб. работа «Спектральные свойства излучения инжекционных лазеров красного диапазона»                           |                             |                      | 6                    |     |      |  |                              |
| 4.                           | Квантоворазмерные эффекты.  | 4                           |                      |                      |     |      | Л.3, с. 45-85;<br>Л.11, с. 159-186,<br>201-211.                          | устный опрос                 |
| 5.                           | Методы контроля параметров полупроводниковых лазеров.   | 10                          |                      |                      |     |      | Л.1, с. 123–132. Л.5, с. 3–11.<br>Л.6, с. 191–200. Л.9, с. 5–19, 70–104. | Отчет по лабораторной работе |
|                              | Лаб. работа «Исследование диаграммы направленности полупроводниковых лазеров»                                   |                             |                      | 6                    |     |      |  |                              |
|                              | Лаб. работа «Длина когерентности излучения одночастотных квантоворазмерных гетеролазеров и светодиодов»         |                             |                      | 10                   |     |      |  |                              |
| 6.                           | Методы стабилизации и управления характеристиками полупроводниковых лазеров.                                    | 4                           |                      |                      |     |      | Л.7, с. 12–22.<br>Л.8, с.11–44.<br>Л.9, с. 38–66.                        | устный опрос                 |
| 7.                           | Рециркуляционные измерительные системы на основе полупроводниковых лазеров.                                     | 2                           |                      |                      |     |      | Л.9, с. 145–198  | устный опрос                 |

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Рекомендуемая литература:

#### Основная

1. Грибковский В.П. Полупроводниковые лазеры. - Мн.: Университетское, 1988. – 304 с.
2. Елисеев П.Г. Введение в физику инжекционных лазеров. - М.: Наука, 1983. – 296 с.
3. Афоненко А.А., Кононенко В.К., Манак И.С. Теория полупроводниковых лазеров. - Мн.: Белгосуниверситет, 1995. – 108 с.
4. Микаэлян А.К. Оптические методы в информатике. – М.: Наука, 1990. – 232 с.
5. Коростик К.Н., Малевич И.А., Манак И.С. Специальные вопросы полупроводниковой квантовой электроники: Учеб. пособие по лабораторному практикуму для студентов специальности 23.02 «Радиофизика и электроника». В двух частях. Ч. 1. – Мн.: Белгосуниверситет, – 1994.
6. Гада Н.Ф. Измерение параметров приборов оптоэлектроники / Под ред. С.В. Свечникова. – М.: Радио и связь, 1981. – 208 с.
7. Аленцев Б.М., Варшавский М.Я., Вещиков А.А. и др. Измерение спектрально-частотных и корреляционных параметров и характеристик лазерного излучения / Под ред. А.Ф. Котюка и Б.М. Степанова. – М.: Радио и связь, 1982. – 272 с.
8. Коростик К.Н. НИР на специализирующей кафедре. Методические указания и рекомендации для студентов специальностей «Радиофизика» и «Физическая электроника», 1995. – 42 с.
9. Коростик К.Н. Управляемые инжекционные лазеры в информационно-измерительных системах. – Мн.: БГУ, 2003. – 200 с.

#### Дополнительная

10. Богданкевич О.В., Дарзбек С.А., Елисеев П.Г. Полупроводниковые лазеры. - М.: Наука, 1976. - 415 с.
11. Физика полупроводниковых лазеров. / Под. ред. Х. Такумы. - М.: Мир, 1989. - 310 с.
12. Чео П.К. Волоконная оптика. Приборы и системы. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 279 с.
13. Коростик К.Н., Манак И.С. Исследование флуктуаций интенсивности инжекционных лазеров методом двух детекторов в учебном практикуме // Применение лазерной и оптико-электронной техники в учебном процессе. Вып. 2. – Мн.: Белгосуниверситет, 1994. – 181 с.

## ДИАГНОСТИКА КОМПЕТЕНЦИЙ СТУДЕНТА

Типовыми учебными планами направлений специальности в качестве формы текущей аттестации по учебной дисциплине «Полупроводниковые источники излучения» предусмотрен зачет. Оценка учебных достижений студента производится по десятибалльной шкале.

Для промежуточного контроля по учебной дисциплине и диагностики компетенций студентов используются следующие формы:

- устный опрос;
- отчеты по лабораторным работам с их устной защитой.



**ПРОТОКОЛ  
СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ ПО ИЗУЧАЕМОЙ  
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ  
СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

| Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование | Название кафедры                    | Предложения об изменениях в содержании учебной программы изучаемой дисциплины | Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)* |
|---|-------------------------------------|---|--|
| Оптика  | Физики и аэрокосмических технологий | Без изменений   |  |
| Электричество   | Физики и аэрокосмических технологий | Без изменений   |  |
|   |                                     |   |  |
|   |                                     |   |  |
|   |                                     |   |  |
|   |                                     |   |  |
|   |                                     |   |  |
|   |                                     |   |  |
|   |                                     |   |  |
|   |                                     |   |  |
|   |                                     |   |  |
|   |                                     |   |  |
|   |                                     |   |  |
|   |                                     |   |  |
|   |                                     |   |  |
|   |                                     |   |  |
|   |                                     |   |  |
|   |                                     |   |  |
|   |                                     |   |  |
|   |                                     |   |  |

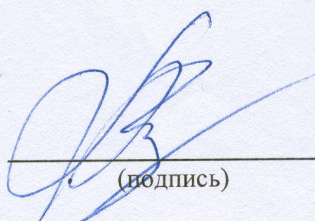
**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ  
К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ  
ДИСЦИПЛИНЕ НА 2016 / 2017 УЧЕБНЫЙ ГОД**

| № п/п | Дополнения и изменения                           | Основание |
|-------|--|-----------|
|       | <i>Пересмотрена и одобрена<br/>без изменений</i> |           |

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
КР и ОЭ (протокол № 11 от 03.06 2016 г.)  
(название кафедры)

Заведующий кафедрой

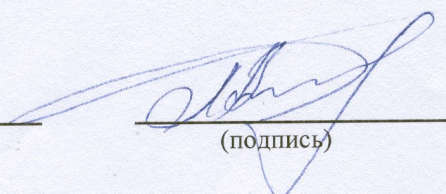
д.ф.-м. н., профессор  
(степень, звание)

  
(подпись)

М. М. Кугейко  
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

к. ф.-м. н., доцент  
(степень, звание)

  
(подпись)

С. В. Малый  
(И.О.Фамилия)

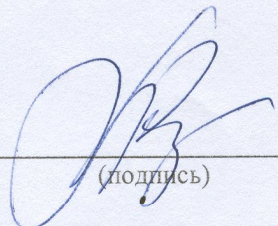
**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ**  
**К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ**  
**ДИСЦИПЛИНЕ НА 2017 / 2018 УЧЕБНЫЙ ГОД**

| № п/п | Дополнения и изменения                                  | Основание |
|-------|---|-----------|
|       | <p align="center"><i>Без изменений и дополнений</i></p> |           |

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
КРиОЭ (протокол № 1 от 5.09 2017г.)  
(название кафедры)

Заведующий кафедрой

*д.ф.н.н., профессор*  
(степень, звание)

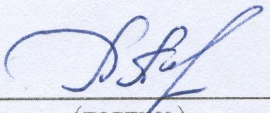
  
(подпись)

**М. М. Кугейко**  
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

*Зам.* Декан факультета

*к.ф.н.н., доцент*  
(степень, звание)

  
(подпись)

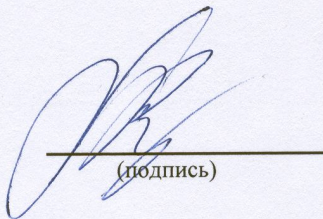
*С. В. Малов*  
(И.О.Фамилия)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ  
К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ  
ДИСЦИПЛИНЕ НА 2018 / 2019 УЧЕБНЫЙ ГОД**

| № п/п | Дополнения и изменения  | Основание   |
|-------|---|---|
| 1.    | Внесены изменения в протокол согласования учебной программы с другими дисциплинами. | Положение о разработке программы... от 06.04.2015г. |

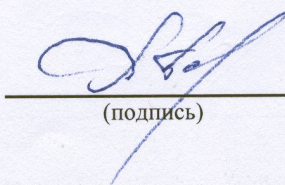
Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
КРиОЭ (протокол № 1 от 30.08 2018г.)  
(название кафедры)

Заведующий кафедрой  
д.ф.-м.н., профессор  
(ученая степень, ученое звание)

  
(подпись)

М. М. Кугейко  
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ  
Зам. Декана факультета  
к.ф.-м.н., доцент  
(ученая степень, ученое звание)

  
(подпись)

С. В. Малый  
(И.О.Фамилия)