

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

КВАНТОВЫЕ И ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов направления
« Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

2012

Мягков Александр Сергеевич.

Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства: методические указания по самостоятельной работе для студентов направления «Электроника и микроэлектроника» (специальность Электронные приборы и устройства) / А.С. Мягков; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2012. - 15 с.

Самостоятельная работа направлена на углубление знаний дисциплины и предполагает обобщение изучаемых тем, а темы для самостоятельной проработки обобщают приобретенные знания и позволяют студенту самостоятельно решать задачи, возникающие при внедрении передовых технологий в производстве.

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Электроника и микроэлектроника» (специальность «Электронные приборы и устройства» по дисциплине «Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства»

© Мягков Александр Сергеевич, 2012

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ

Зав.кафедрой ЭП

_____ С.М. Шандаров

« ____ » _____ 2012 г.

КВАНТОВЫЕ И ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов направления
« Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

Разработчик

д-р техн. наук, проф. каф.ЭП

_____ А.С. Мягков

« ____ » _____ 2012 г

1 Введение

Целью самостоятельной работы в дисциплине «Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства» является систематизация, расширение и закрепление теоретических знаний студентов и их применение при решении конкретных задач\.

Методические указания предназначены для студентов при работе над индивидуальным заданием и при подготовке к его защите. Они также могут использоваться в процессе проведения консультаций, коллоквиумов.

Данные методические указания ставят своей целью оказать помощь студентам в изучении и проектировании новейших квантовых и оптоэлектронных приборов и устройств. Это требует овладения навыками самостоятельной работы с учебной и периодической литературой, с описаниями патентов и авторских свидетельств, умения самостоятельно излагать свои мысли и знания в процессе изучения дисциплины.

Методические указания содержат программу, перечень важнейших изучаемых тем учебного курса, для проверки знаний; приведены вопросы для самопроверки, приведены темы индивидуальных самостоятельных работ.

Раздел 1. Основные понятия в теории квантовых и оптоэлектронных приборов

1.1 Содержание раздела

Квантовые усилители и генераторы, принципиальное устройство газового и твердотельного лазера, устройство мазера. Оптоэлектронные явления на нелинейных оптических кристаллах. Оптические волноводы и волокна. Закон Снелля. Акусто и оптоэлектронные приборы. Фотоприборы. Нанoeлектроника. Одноэлектронные транзисторы, устройства магнитооптики, фуллерены

1.2 Методические указания по изучению раздела.

В данной теме следует обратить внимание на общее принципиальное устройство квантовых и оптоэлектронных приборов и устройств, а также на оптоэлектронные явления на нелинейных оптических кристаллах. Важно обратить внимание на закон Снелля и работу волновода и оптоволокна.

1.3 Вопросы для самопроверки

1.1. Какие специфические требования предъявляются к материалам для квантовых и оптоэлектронных приборов?

1.2. Чем отличается лазер от мазера?

1.3. Как принципиально устроен газовый лазер?

- 1.4. Как устроен одноэлектронный транзистор?
- 1.5. Какие оптоэлектронные явления на кристаллах Вам известны?
- 1.6. Что такое фуллерены?
- 1.7. Как принципиально устроен и работает акустоэлектронный элемент?
- 1.8. На каком принципе работает твердотельный лазер?
- 1.9. Принцип работы магнитооптических устройств
- 1.10. Принципиальное устройство оптического волновода

Раздел 2. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках

2.1 Содержание раздела

Энергетические состояния в полупроводниковых кристаллах. Оптические переходы в полупроводниках. Оптическое поглощение в кристаллах. Люминесценция. Квантоворазмерные структуры. Информационные модели объектов. Анализ сигналов с квантовых и оптоэлектронных приборов. Математическая статистика. Обработка экспериментальных данных.

2.2 Методические указания по изучению раздела

В данной теме обращается внимание на информационные модели объектов; на математическую статистику при анализе сигналов с квантовых и оптоэлектронных приборов. Следует обратить внимание на зонную теорию твердых тел и оптические переходы в полупроводниках.

2.3 Вопросы для самопроверки

- 2.1 Понятие информационной модели объекта
- 2.2 Понятие доверительного интервала при нормальном распределении функции ошибок
- 2.3 Какими свойствами обладают спонтанные и индуцированные излучения?
- 2.4 Что понимается под люминесценцией?
- 2.5 Как возникают колебания в ОКГ, и какие условия необходимы для существования стационарных колебаний?
- 2.6 Почему в ОКГ возможно существование колебаний с различными частотами?
- 2.7 Определить неопределенность энергии i уровня и ширину естественной линии вещества, имеющего время жизни уровня $7 \cdot 10^{-6}$ с.
- 2.8 Как изменяется спектр частот колебаний при уменьшении длины резонатора ОКГ?
- 2.9. Понятие квантоворазмерных структур

2.10 При каких условиях вещество способно усиливать электромагнитное излучение?

2.10 Понятие «полигон» и гистограмма при статистическом распределении сигналов с квантовых и оптоэлектронных приборов.

Раздел 3. Моделирование и методы расчета квантовых приборов и устройств

3.1 Содержание раздела

Моделирование изменения параметров и расчет квантового генератора. Расчет и моделирование квантовых переходов. Расчет добротности резонаторов. Моделирование процессов в оптическом резонаторе. Моделирование явлений в квантовом парамагнитном усилителе.

3.2 Методические указания по изучению раздела

В данной теме следует обратить внимание на математические соотношения и физику рассматриваемого процесса. Полезно познакомиться с решением подобных задач.

3.3 Вопросы для самопроверки

- 3.1. Стержневые линзы, ход лучей
- 3.2. Условие согласования источника связи с волокном
- 3.3. Цифровые методы передачи информации
- 3.4. Структурная схема оптической связи
- 3.5. Цифровое преобразование сигналов (амплитудная модуляция, NRS-код, дискретизация)
- 3.6. Типы кодов передачи.
- 3.7. Критерии выбора кода
- 3.8. Общие правила кодирования
- 3.9. Причины ошибок в цифровых сетях
- 3.10. Перечислите основные этапы при передаче, приеме и регенерации сигналов в ВОЛС.
- 3.11. Назовите основные отличия NRZ и MAN кодов друг от друга.
- 3.12. Какими параметрами "глаз-диаграммы" характеризуется устойчивость системы к шуму, фазовому дрожанию сигнала ?
- 3.13. Возможно ли выбором кода уменьшить вероятность ошибок? Если можно, то как ?
- 3.14. Какие основные механизмы потерь в волокне влияют на информационно-пропускную способность ВОЛС?
- 3.15. Объясните отличие межмодовой от материальной дисперсии.

Раздел 4. Оптоэлектронные устройства, приборы и элементы оптоэлектроники и методы их расчета и проектирования

4.1 Содержание раздела

Классификация оптоэлектронных устройств, приборов и элементов оптоэлектроники. Фотоприемники. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Приемники оптических изображений. Дифракционные потери и их расчет. Волоконно-оптические линии связи и её элементная база. Элементы интегральной оптики. Моделирование, расчет и проектирование параметров фотоприемника и оптического волокна.

4.2 Методические указания по изучению раздела

В данной теме полезно посмотреть примеры решения задач.

4.3 Вопросы для самопроверки

4.1. Что понимается под фотоприёмным устройством с прямым детектированием?

4.2. Приведите упрощенную схему ФПУ

4.3. Раскройте алгоритм расчета порога чувствительности в цифровой системе передачи данных.

4.4. Как на порог чувствительности ФПУ влияет изменение следующих параметров:

а) уменьшение шумов схемы усиления,

б) уменьшение коэффициента ошибок?

4.5. Каким критерием необходимо руководствоваться при выборе активного элемента схемы усиления? Обосновать критерий.

4.6. Какой вид кодов передачи может быть использован для расчета порога чувствительности фотоприемного устройства

4.7. Используя зонную диаграмму, объяснить механизмы люминесценции в случае прямозонных и непрямозонных переходов в полупроводниках.

4.8. Что такое внутренняя квантовая эффективность?

4.9. Перечислить факторы:

а) ухудшающие внутреннюю квантовую эффективность,

б) улучшающие внутреннюю квантовую эффективность,- с точки зрения процессов, происходящих в полупроводнике при инжекции неосновных носителей заряда. в p-n переход?

4.10. Что такое внешняя квантовая эффективность?

4.11. Перечислить эффекты, ухудшающие внешнюю квантовую эффективность.

4.12. Какую роль в конструкции диода Баррасса играет прослойка SiO₂?

4.13. Что мы понимаем под термином эффективность ввода оптического излучения источника (светодиода) в волокно?

4.14. Раскрыть алгоритм информационного согласования светодиода с волокном с помощью стержневой линзы.

Раздел 5. Полупроводниковые лазеры и светодиоды

5.1 Содержание раздела

Полупроводниковые лазеры на собственных полупроводниках с оптической накачкой. Инжекционные полупроводниковые лазеры на гомоструктурах и гетероструктурах. Характеристики излучения полупроводниковых лазеров. Цветовая диаграмма. Цветовое уравнение

Светодиоды, их устройство, принцип работы. Конструкция светодиода Барраса. Волноводы. Понятие «моды»

5.2 Методические указания по изучению раздела

В данном разделе обращается внимание на математические соотношения, моделирующие процесс возбуждения и генерацию излучения. Обращается внимание на цветовую диаграмму, цветовое уравнение; светодиоды, их устройство и принцип работы; конструкцию светодиода Барраса; волноводы; понятие «моды».

5.3 Вопросы для самопроверки

5.1. Полупроводниковые лазеры на собственных полупроводниках с оптической накачкой, принцип работы, устройство, характеристики излучения.

5.2. Полупроводниковые лазеры с электронной накачкой, принцип работы, устройство, характеристики излучения.

5.3. Инжекционные полупроводниковые лазеры на гомоструктурах и гетероструктурах. Принцип работы, устройство, характеристики излучения.

5.4. Понятие «моды» излучения.

5.5 Оптические волноводы.

5.6. Конструкция светодиода Барраса.

5.7 Светодиоды, их устройство, принцип работы.

5.8 Цветовая диаграмма

5.9. Цветовое уравнение

5.10. Спектральные характеристики светодиодов

Раздел 6. Газовые и твердотельные лазеры, устройства квантовой электроники и оптоэлектроники

6.1 Содержание раздела

Газовые лазеры, конструкции и параметры. Основные способы возбуждения активных сред. Электрический разряд, газодинамика, химическое возбуждение, фотодиссоциация, оптическая накачка. Квантовая эффективность.

Резонансная передача энергии возбуждения при столкновениях. Двухуровневый квантовый генератор. Гелий-неоновый лазер.

Устройства квантовой электроники и оптоэлектроники Квантовые парамагнитные усилители и генераторы; типы оптических резонаторов. Резонатор Фабри-Перо: устойчивость, собственные колебания, методы их селекции; стационарная и нестационарная генерация в лазерах; стабильность параметров лазерного излучения; моделирование добротности оптического резонатора. Явление электронного парамагнитного резонанса.

He-Cd- лазер. Пеннинговский механизм ионизации и возбуждения. Катафорез. CO₂-лазер. Механизм инверсии. Роль азота и гелия. Лазеры с продольной прокачкой, отпаянные лазеры. Газодинамические лазеры. СО-лазер. Принцип Франка- Кондона. Азотный и водородный лазеры.

Экимерные лазеры. Принцип действия, параметры лазеров. Химические лазеры. Экзотермические реакции и колебательная энергия. Лазер на HF и йодный фотодиссоционный лазер

Твердотельные лазеры. Матрицы лазеров на твердом теле. Рубиновый лазер. Неодимовый лазер на гранате и стекле.

Лазеры на красителях. Спектрально-люминесцентные свойства красителей. Схема уровней. Непрерывный и импульсный режимы. Порог накачки. Лазеры на центрах окраски. Методы окрашивания кристаллов. Анионные вакансии. Спектры поглощения и люминесценции. Цикл оптической накачки. Вибронные и бесфононные переходы. Лазер на александрите. Лазер на сапфире с титаном. Лазеры на свободных электронах, рентгеновские лазеры. Тенденции развития лазерной техники

6.2 Методические указания по работе над темой

В данной теме следует обратить внимание на физику процесса возбуждения и генерации излучения, а также на факторы, влияющие на стабильность частоты квантовых генераторов; на конструкции и параметры лазеров и принципы их действий.

6.3 Вопросы для самостоятельной проработки темы

6.1 Каким образом достигается инверсия населенности в двухуровневом квантовом генераторе?

6.2 За счет чего образуется инверсионный спектр колебаний аммиака?

6.3 Глеющий разряд в лазерах

6.4 Требования к зеркалам лазера.

6.5 Чем определяются условия самовозбуждения аммиачного генератора?

6.6 Почему квантовые генераторы являются высокостабильными частотными генераторами?

6.7 Что представляет собой явление электронного парамагнитного резонанса (ЭПР)?

6.8 Какие схемы накачки используются в квантовых парамагнитных усилителях?

6.9. Самостоятельный и несамостоятельный разряды в газовых лазерах

6.10 Чем обусловлен малый уровень шумов в квантовых парамагнитных усилителях?

6.11. Прямой зона-зонный излучательный переход.

6.12. Внутренняя квантовая эффективность.

6.13. Зона-зонный переход, непрямозонный переход.

6.14. Френелевское отражение полупроводник-возд

Раздел 7. Методы и устройства управления лазерным излучением

7.1 Содержание раздела

Электрооптические, магнитооптические и пьезооптические эффекты. Оптическая связь. Оптические модуляторы лазерного излучения. Дефлекторы. Методы и устройства управления спектральными и пространственными характеристиками лазерного излучения. Квантовые и оптоэлектронные приборы как информационная система с кодировкой сигналов. Теорема Котельникова. Винеровская фильтрация. Теорема Шеннона. Типы кодировки. Линзы Френеля. Число Френеля. Голографические и дифракционные решетки. Интерферометры Маха-Цандлера, интерферометр Юнга. Монохроматоры. Двухпучковое управление.

7.2 Методические указания по теме

Обращается внимание на физику процессов, происходящих при управлении излучением. Обращается внимание на следующие вопросы. Квантовые и оптоэлектронные приборы как информационная система с кодировкой сигналов. Теорема Котельникова. Винеровская фильтрация. Теорема Шеннона. Типы кодировки.

Вопросы для самостоятельной проработки материала

1. Информационная емкость лазерного канала связи.
2. Достоинства и недостатки оптических систем связи.
3. Типы кодировки оптических систем.
4. Теорема Котельникова для дискретизации.
5. Винеровская фильтрация.
6. Формула Шеннона для отношения сигнал/шум
7. Закон Снелля для полного внутреннего отражения света.
8. Числовая апертура волокна для ввода излучения.
9. Материальная дисперсия, роль лигатуры.
10. Среднеквадратическая длительность импульса.
11. Информационно-пропускная способность оптоволокна.
12. Потери света в оптоволокне.
13. Рэлеевское рассеяние.

8 Лабораторные работы

В процессе выполнения лабораторных занятий студент не только закрепляет теоретические знания, но и пополняет их. Лабораторные работы проводятся циклическим и фронтальным методом, согласно графика, установленного индивидуально для каждой студенческой бригады. При подготовке к лабораторной работе студент должен руководствоваться индивидуальным заданием, номер которого соответствует номеру, присвоенному бригаде. По мере освоения оборудования студентам могут поручаться индивидуальные работы в плане фрагментов научно-поисковых работ.

Вся работа разбивается на следующие этапы: вступительный, проведение эксперимента, обработка результатов, защита.

Вступительный этап включает анализ полученного индивидуального задания, изучение рекомендуемых литературных источников по теме задания, знакомство с приборами, методами и схемами измерений. Исходя из возможностей лабораторного оборудования и условий индивидуального задания, выбирается и обосновывается метод проведения эксперимента, составляется методика и программа выполнения работы. В процессе самостоятельной подготовки к лабораторной работе каждый студент ведет черновик отчета, куда вносятся:

- схема установки;
- методика проведения работы;
- формулы и предполагаемые графики.

В процессе домашней подготовки студент проверяет качество усвоения проработанного материала по вопросам для самоконтроля, относящимся к изучаемой теме. Без проведения такой предварительной подготовки к лабораторной работе студент не допускается к выполнению эксперимента.

Помимо домашней работы студенты готовятся к выполнению эксперимента также на рабочем месте: они знакомятся с оборудованием, уточняют порядок выполнения работы, распределяют рабочие функции между членами бригады. В ходе аудиторной подготовки преподаватель путем собеседования выявляет и оценивает степень готовности каждого студента к проведению эксперимента и знание им теоретического материала. Студенты, не подготовленные к выполнению работы или не представившие отчеты по предыдущей работе, к выполнению новой работы могут быть не допущены и все отведенное время для лабораторной работы должны находиться в лаборатории, изучать по рекомендованной литературе тот материал, с которым они не познакомились дома. К выполнению работы они могут быть допущены только после собеседования. Все пропущенные лабораторные работы по уважительным или неуважительным причинам могут быть выполнены в конце семестра на дополнительных занятиях.

Проведение эксперимента в лаборатории – это второй этап работы – проведение эксперимента в лаборатории. На этом этапе очень важно, чтобы студент выполнил самостоятельно и грамотно необходимые измерения и наблюдения, укладываясь в отведенное для этого время. При организации своей работы для проведения эксперимента целесообразно исходить из рекомендаций, изложенных в руководствах для выполняемой лабораторной работы.

В экспериментах, когда это важно, всегда следует ставить пробные опыты, которые преследуют несколько целей:

- экспериментатор «знакомится» с данным экспериментом. В каждом эксперименте своя методика и связанные с нею определенные, часто повторяющиеся операции, и экспериментатору необходимо поупражняться или попрактиковаться в их выполнении. Первые несколько измерений в эксперименте почти всегда менее надежны или менее ценны, чем последние, и обычно удается сэкономить время, если в начальный период работы затратить часть его на то, чтобы найти наилучшие способы проведения измерений и записи результатов;

- проверяется работа отдельных элементов установки аппаратуры;

- определяется соответствующий интервал значений для каждой из величин, измеряющихся в данном эксперименте;

- оцениваются возможные ошибки в различных величинах.

В ходе пробного опыта следует провести некоторые предварительные измерения и составить план с указанием величин, которые необходимо измерять, и оценить время, необходимое на каждое такое измерение.

Прежде чем, приступить к систематическим измерениям, необходимо убедиться, что Вы знаете, как работает прибор, какая взаимосвязь между отдельными элементами установки, т.е. что чем регулируется. Разобраться в этом вопросе студенту поможет внимательное чтение инструкций, описаний приборов и частных методических указаний.

В каждом эксперименте очень важно сразу же записывать все сделанное. Все результаты измерений следует записывать немедленно и без какой-либо обработки. Не проводите никаких, даже самых простых, арифметических расчетов в уме, прежде чем записать результат измерения. Обработка измерений - последний этап работы.

Пересчет показаний прибора в истинное значение измеряемой величины выполняется в процессе обработки результатов измерений. При проведении и записи измерений хорошо проверить то, что Вы записали, взглянуть еще раз на прибор. Все записи необходимо датировать и снабжать заголовками.

Защита работы. Отчет студента должен быть индивидуальным, и содержать следующие разделы: наименование работы; цель работы; индивидуальное задание; применяемая аппаратура; ее описание (система, класс, цена деления и т.д.); краткое изложение методики, схемы опытов; таблицы данных измерений; итог обработки результатов и расчетные формулы; графики; анализ результатов и погрешностей; фрагмент конструкции соединения. Анализ результатов является важной частью отчета.

Здесь нужно привести:

- сопоставление с другими аналогичными результатами, если они имеются, с обязательной ссылкой на литературный источник;
- сопоставление с соответствующими теориями;
- причины, обусловившие погрешности измерений и методы их устранения.

Таким образом, отчет студента должен представлять собой пусть небольшую, но законченную работу, хорошо оформленную и грамотно изложенную.

Ниже приведены названия лабораторных работ.

1. Факторы, влияющие на информационно-пропускную способность волоконно-оптических линий связи
2. Изучение факторов, влияющих на эффективность ввода оптического излучения в волокно
3. Определение энергетических характеристик светодиода
4. Определение энергетических характеристик полупроводникового инжекционного лазера
5. Исследование характеристик излучения гелий-неонового лазера
6. Исследование энергетических и спектральных характеристик фотодиодов
7. Моделирование характеристик фотоприемных устройств для волоконно-оптических систем связи

9 Практические занятия

На практических занятиях студенты приобретают навык моделирования и прогнозирования параметров квантовых и

оптоэлектронных приборов. Студентам предлагается оценка граничных условий применения соотношений, умение составления программ для расчетов, умение сравнивать полученные результаты с аналогами и достижениями в данной области.

Перед практическими занятиями студент должен повторить лекционный материал, ответив на вопросы для самоконтроля по необходимой теме, а также просмотреть рекомендации по решению типичных задач этой темы.

Темы практических занятий

1. Статистическое моделирование квантовых переходов
2. Моделирование процессов в оптическом резонаторе
3. Статистическое моделирование добротности оптических систем
4. Моделирование явлений в квантовом усилителе
5. Расчет параметров оптического квантового генератора
6. Моделирование работы фотоприемника
7. Расчетное моделирование параметров оптического волокна

Список литературы

1. Киселев Г.Л. Квантовая и оптическая электроника. – СПб.: Изд-во "Лань", 2011. – 320 с. - 2-е изд. испр. и доп.. ISBN: 978-5-8114-1114-6 http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=627
2. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника. – СПб.: Изд-во "Лань", 2011. – 528 с ISBN: 978-5-8114-1136-8 http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=684
3. Верещагин И.К., Косяченко Л.А., Кокин С.М. Введение в оптоэлектронику: Учебное пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 1991. - 191 с.
4. Квасница М.С. Квантовые и оптоэлектронные приборы: Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2002.– 73 с.
5. Малышев В. А. Основы квантовой электроники и лазерной техники: Учебное пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 2005. - 542 с.
6. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. Учебник для ВУЗов.- М.: Высшая школа, 2001. – 574 с.
7. Семенов А.С., Смирнов В.Л., Шмалько А.В. Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации. - М.: Радио и связь, 1990. - 225 с.
8. Шангин А.С. Квантовая и оптическая электроника: учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2008. – 112 с.
9. Шандаров С.М., Башкиров А.И. Введение в квантовую и оптическую электронику. Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2007. – 93 с.

Учебное пособие

Мягков А.С.

Квантовые и оптоэлектронные приборы и устройства

Методические указания по самостоятельной работе

Усл. печ. л. _____. Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40