

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

Кафедра электронных приборов

ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов направления
200700.62 – Фотоника и оптоинформатика

2013

Орликов Леонид Николаевич

Твердотельные приборы и устройства: методические указания по самостоятельной работе для студентов направления 200700.62 – «Фотоника и оптоинформатика» / Л.Н. Орликов. 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, 2013. – 17 с.

Методические указания содержат программу, перечень важнейших изучаемых тем учебного курса, для проверки знаний приведены вопросы для самопроверки, приведен перечень вопросов для самостоятельного изучения.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способностью планировать и проводить эксперименты, обрабатывать и анализировать их результаты (ПК-13);
- способностью применять современные методы проектирования производственно-технологических процессов в профессиональной области (ПК-27);
- способностью применять современные системы управления качеством выпускаемой продукции (ПК-28);
- способностью составлять техническое задание на научно-исследовательскую, проектно-конструкторскую, производственно-технологическую деятельность (ПК-37).

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению 200700.62 – «Фотоника и оптоинформатика» по курсу «Твердотельные приборы и устройства».

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
«__» _____ 2013 г.

ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов направления
200700.62 – «Фотоника и оптоинформатика»

Разработчик

_____ Л.Н. Орликов
«__» _____ 2013 г.

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение | 5 |
| 1 Введение. Классификация твердотельных приборов | 6 |
| 1.1 Содержание раздела..... | 6 |
| 1.2 Вопросы для самопроверки | 6 |
| 2 Основы физики полупроводников..... | 6 |
| 2.1 Содержание раздела..... | 6 |
| 2.2 Вопросы для самопроверки | 6 |
| 3 Полупроводниковые диоды, биполярные транзисторы, полевые транзисторы..... | 7 |
| 3.1 Полупроводниковые диоды..... | 7 |
| 3.1.1. Содержание раздела..... | 7 |
| 3.1.2. Вопросы для самопроверки..... | 7 |
| 3.2 Биполярные транзисторы | 8 |
| 3.2.1. Содержание раздела..... | 8 |
| 3.2.2. Вопросы для самопроверки..... | 8 |
| 3.3 Полевые транзисторы | 8 |
| 3.3.1. Содержание раздела..... | 8 |
| 3.3.2. Вопросы для самопроверки..... | 9 |
| 4 Аналоговые интегральные микросхемы | 9 |
| 4.1 Содержание раздела..... | 9 |
| 4.2 Вопросы для самопроверки | 9 |
| 5 Цифровые интегральные микросхемы | 10 |
| 5.1 Содержание раздела..... | 10 |
| 5.2 Вопросы для самопроверки | 10 |
| 6 Применение твердотельных приборов в устройствах фотоники и оптоинформатики..... | 10 |
| 6.1 Содержание раздела..... | 10 |
| 6.2 Вопросы для самопроверки | 10 |
| 7 Лабораторные занятия..... | 11 |
| 8 Практические занятия | 12 |
| 9 Темы для самостоятельного изучения..... | 13 |
| 10 Заключение | 14 |
| Список литературы | 15 |

Введение

Методические указания содержат программу, перечень важнейших изучаемых тем учебного курса, для проверки знаний приведены вопросы для самопроверки, приведен перечень вопросов для самостоятельного изучения.

Целью преподавания дисциплины “Твердотельные приборы и устройства” является необходимость овладения научными основами проектирования твердотельных приборов и устройств.

В задачи изучения дисциплины входят изучение не только традиционных твердотельных приборов и устройств, но и основы проектирования с применением ЭВМ; построение алгоритмов, формализованных и математических моделей процессов в твердотельных приборах и устройствах.

В результате изучения дисциплины студенты должны приобрести навыки проектирования и эксплуатации твердотельных приборов и устройств, умение проводить научные исследования и эксперименты, обрабатывать и анализировать полученные результаты. Основная задача дисциплины - привить студентам навык к решению проблемных задач использования твердотельных приборов и устройств на их основе.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способностью планировать и проводить эксперименты, обрабатывать и анализировать их результаты (ПК-13);

- способностью применять современные методы проектирования производственно-технологических процессов в профессиональной области (ПК-27);

- способностью применять современные системы управления качеством выпускаемой продукции (ПК-28);

- способностью составлять техническое задание на научно-исследовательскую, проектно-конструкторскую, производственно-технологическую деятельность (ПК-37).

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- физические принципы работы твердотельных приборов и устройств;
- основные приемы построения устройств на основе твердотельных приборов;

уметь:

- ориентироваться в многообразии современных твердотельных приборов;

- разрабатывать принципиальные схемы взаимодействия твердотельных приборов различных типов;

- определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы работы твердотельных приборов;

- использовать для выполнения отдельных операций стандартные программные продукты;

владеть: терминологией, методиками исследования твердотельных приборов; современными методами и подходами при разработке и эксплуатации твердотельных приборов.

1 Введение. Классификация твердотельных приборов

1.1 Содержание раздела

История развития полупроводниковых приборов. Основные понятия интегральной микроэлектроники. Классификация и обозначение полупроводниковых приборов и интегральных микросхем (ИМС).

1.2 Вопросы для самопроверки

1. Как обозначаются транзисторы.
2. Общее обозначение полупроводниковых приборов
3. Классификация полупроводниковых приборов.

2 Основы физики полупроводников

2.1 Содержание раздела

Собственные и примесные полупроводники. Уровень Ферми. Электропроводность полупроводников, процессы генерации и рекомбинации. Диффузионный и дрейфовые токи в полупроводниках.

Электронно-дырочный переход (р-п переход). Равновесное состояние р-п перехода, прямое и обратное включение перехода. Барьерная и диффузионная емкости р-п перехода

2.2 Вопросы для самопроверки

1. Что такое разрешенные и запрещенные зоны?
2. Что такое уровень Ферми?
3. Что такое собственный полупроводник?
4. Что такое диффузия и дрейф носителей заряда?
5. Что такое подвижность носителей заряда?
6. Как примеси влияют на характеристики полупроводника?
7. Что такое электронный и дырочный полупроводники?
8. Какова энергия Ферми в примесных полупроводниках?
9. Как объяснить температурную зависимость концентрации носителей заряда в полупроводниках?
10. Какими физическими факторами объясняется температурная зависимость подвижности носителей заряда?
11. Что такое электронно-дырочный переход?
12. Как распределяются носители и электрические заряды в различных областях р-п-перехода?

13. От чего зависит контактная разность потенциалов в р-п-переходе?
14. От чего зависит ширина обедненного слоя р-п-перехода?
15. Как Вы понимаете условие равновесия в р-п-переходе?
16. Какие процессы происходят в р-п-переходе при прямом и обратном смещениях?
17. Что такое тепловой ток?
18. В чём состоят отличия ВАХ реального диода от ВАХ идеального р-п-перехода?
19. Что такое барьерная емкость р-п-перехода?

3 Полупроводниковые диоды, биполярные транзисторы, полевые транзисторы

3.1 Полупроводниковые диоды

3.1.1. Содержание раздела

Вольтамперная характеристика реального диода. Классификация полупроводниковых диодов по функциональному назначению. Выпрямительные диоды, стабилитроны, СВЧ диоды, диоды с использованием объемной неустойчивости. Переходные процессы в полупроводниковых диодах, параметры переключения.

3.1.2. Вопросы для самопроверки

1. Какую область полупроводникового диода называют базой?
2. Как и по каким причинам изменяется прямая ветвь ВАХ диода с увеличением его температуры?
3. Как влияют процессы генерации и рекомбинации носителей заряда на ВАХ диода?
4. Что такое р-і-п-диод?
5. Как зависит пробивное напряжение диодов при лавинном пробое от концентрации примесей в базе и от её удельного сопротивления?
6. Объяснить различия в ВАХ германиевых и кремниевых диодов.
7. В чём проявляется инерционность процесса переключения в диодах и как она уменьшается в импульсных диодах?
8. Назвать основные параметры стабилитрона.
9. Как зависит напряжения пробоя от температуры?
10. Изобразить схему параметрического стабилизатора напряжения и объяснить его работу.

3.2 Биполярные транзисторы

3.2.1. Содержание раздела

Физические явления в биполярном транзисторе. Характеристики и параметры биполярного транзистора. Динамический режим транзистора, динамические характеристики и параметры. Транзистор в импульсном режиме. Работа транзистора на высоких частотах. Режимы и параметры транзисторов. Дрейфовые транзисторы

3.2.2. Вопросы для самопроверки

1. В каких режимах может работать биполярный транзистор?
2. Какова полярность напряжений на электроде транзистора типа р-п-р в активном режиме в схеме с ОБ и ОЭ? У транзистора п-р-п?
3. Объяснить принцип работы транзистора в активном режиме.
4. Каковы уравнения токов, определяемые физическими процессами, протекающими в транзисторе?
5. Каким образом в транзисторе происходит усиление электрических колебаний по мощности?
6. В чём состоит явление модуляции ширины базы? Как оно влияет на токи транзистора?
7. Объяснить поведение входных и выходных характеристик транзистора в схеме ОБ.
8. Объяснить поведение входных и выходных характеристик транзистора в схеме ОЭ.
9. Почему в качестве малосигнальных параметров транзисторов используются h -параметры?
10. На семействе выходных характеристик транзистора указать область активного режима, режима насыщения, режима отсечки.
11. Какие факторы определяют инерционность транзистора при его работе на высоких частотах?
12. В чём особенность работы дрейфового транзистора?
13. Как влияет температура на характеристики и параметры транзисторов в схемах ОБ и ОЭ?

3.3 Полевые транзисторы

3.3.1. Содержание раздела

Полевые полупроводниковые приборы. Полевой транзистор с управляемым р-п переходом. Процессы в структуре металл – диэлектрик-полупроводник (МДП). МДП транзисторы. Приборы с зарядовой связью. Полевые транзисторы с индуцированным каналом. Характеристики и режимы использования мощных полевых транзисторов

3.3.2. Вопросы для самопроверки

1. Объяснить принцип работы полевого транзистора с р-п-переходом и его статистические характеристики.
2. Объяснить принцип работы полевого транзистора с изолированным затвором.
3. Какие разновидности МДП-транзисторов вы знаете? Поясните физические явления, на основе которых эти транзисторы работают.
4. Какой участок характеристик полевого транзистора используется в усилителях?
5. Какой участок характеристик транзистора используется в управляемых делителях напряжения?
6. Нарисуйте схему управляемого делителя напряжения.
7. Представьте схему генератора стабильного тока на полевом транзисторе.
8. Объясните эквивалентную схему полевого транзистора для малого сигнала.
9. Почему входное сопротивление полевых транзисторов очень большое?

4 Аналоговые интегральные микросхемы

4.1 Содержание раздела

Общие сведения. Каскады формирователей тока. Дифференциальные каскады на биполярных транзисторах. Дифференциальные каскады на полевых транзисторах. Выходные каскады. Схемотехника операционных усилителей

4.2 Вопросы для самопроверки

1. Назначение и применение
2. Операционные усилители
3. Компараторы
4. Аналоговые перемножители
5. Микросхемы для теле- и радиоприемных устройств
6. Интегральные цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи
7. Аналоговые ключи и коммутаторы
8. Интегральные стабилизаторы напряжения

5 Цифровые интегральные микросхемы

5.1 Содержание раздела

Логические элементы на биполярных транзисторах. Классификация логических элементов. Основные характеристики логических элементов. Элементы транзисторно-транзисторной логики. Логические элементы на полевых транзисторах. Логические элементы И-НЕ и ИЛИ-НЕ. Логические элементы динамического типа

5.2 Вопросы для самопроверки

1. Назначение и применение
2. Логические функции, реализуемые с помощью цифровых микросхем
3. Классификация и основные электрические параметры цифровых микросхем
4. Схемы транзисторно-транзисторной логики
5. Микросхемы эмиттерно-связанной логики
6. Квасистатические и динамические схемы
7. Перспективы развития цифровых микросхем
8. Интегральная инжекционная логика
9. МОП-схемы с п-каналами

6 Применение твердотельных приборов в устройствах фотоники и оптоинформатики

6.1 Содержание раздела

Характеристики и режимы использования мощных полевых транзисторов. Фотоприемники. Фототранзисторы. Фотоприемные устройства

Четырехслойная р-п-р-п — структура. Физические процессы, приводящие к переключению. Динистор. Триодный тиристор. Симистор. Параметры и характеристики. Особенности применения.

Однопереходный транзистор. Структура, принцип действия, параметры. Применение однопереходных транзисторов и диодов с S -образной характеристикой

6.2 Вопросы для самопроверки

1. Что такое тиристор?
2. Почему коллекторный переход тиристора оказывается смещенным в прямом направлении при переключении тиристора из закрытого состояния в открытое?

3. Какие физические явления влияют на коэффициенты передачи тока транзисторных структур, составляющих тиристор?
4. Почему для изготовления целесообразно использовать полупроводники с большой шириной запрещенной зоны?
5. Какова структура и принцип действия симистра?
6. Что такое однопереходный транзистор?
7. Какова структура и принцип действия однопереходного транзистора?
8. Применение диодов с S - образной характеристикой
9. Применение однопереходных транзисторов

7 Лабораторные занятия

В процессе выполнения лабораторных занятий студент не только закрепляет теоретические знания, но и пополняет их. Вся работа при выполнении лабораторной работы разбивается на следующие этапы: вступительный, проведение эксперимента и обработка результатов.

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 установкой, 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 и в часы сверх расписания по договоренности с преподавателем. Все пропущенные лабораторные работы по уважительным или неуважительным причинам могут быть выполнены в конце семестра на дополнительных занятиях.

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.

На последнем этапе работы студент производит обработку данных

измерений и анализ полученных результатов.

Отчет студента по работе должен быть индивидуальным. Анализ результатов является важной частью отчета.

Ниже приведены названия лабораторных работ.

1. Исследование статических характеристик транзистора. В ходе выполнения работы у студентов формируется способность планировать и проводить эксперименты, обрабатывать и анализировать их результаты (ПК-13); способность применять современные методы проектирования производственно-технологических процессов в профессиональной области (ПК-27).

2. Исследование импульсных свойств биполярного транзистора. В ходе выполнения работы у студентов формируется способность планировать и проводить эксперименты, обрабатывать и анализировать их результаты (ПК-13); способность применять современные методы проектирования производственно-технологических процессов в профессиональной области (ПК-27); способность применять современные системы управления качеством выпускаемой продукции (ПК-28).

3. Исследование статических характеристик полевого транзистора. В ходе выполнения работы у студентов формируется способность планировать и проводить эксперименты, обрабатывать и анализировать их результаты (ПК-13); способность применять современные методы проектирования производственно-технологических процессов в профессиональной области (ПК-27).

8 Практические занятия

На практических занятиях студенты приобретают навык моделирования и прогнозирования характеристик электронных 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 приведены ниже:

1. **Полупроводниковые диоды.** В результате решения задач студент приобретает способностью планировать и проводить эксперименты, обрабатывать и анализировать их результаты (ПК-13); способностью применять современные методы проектирования производственно-технологических процессов в профессиональной области (ПК-27); способностью составлять техническое задание на научно-исследовательскую, проектно-конструкторскую, производственно-технологическую деятельность (ПК-37).

2. Сверхвысокочастотные приборы. В результате решения задач студент приобретает способность применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОК-10); способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ПК-1); способность собирать, анализировать и систематизировать отечественную и зарубежную научно-техническую информацию по тематике исследования в области электроники и нанoeлектроники (ПК-18).

3. Биполярные транзисторы. В результате решения задач студент приобретает способность планировать и проводить эксперименты, обрабатывать и анализировать их результаты (ПК-13); способность применять современные методы проектирования производственно-технологических процессов в профессиональной области (ПК-27).

4. Полевые транзисторы. В результате решения задач студент приобретает способность планировать и проводить эксперименты, обрабатывать и анализировать их результаты (ПК-13); способность применять современные системы управления качеством выпускаемой продукции (ПК-28).

5. Фотоприемники. В результате решения задач студент приобретает способность применять современные методы проектирования производственно-технологических процессов в профессиональной области (ПК-27); способность применять современные системы управления качеством выпускаемой продукции (ПК-28); способность составлять техническое задание на научно-исследовательскую, проектно-конструкторскую, производственно-технологическую деятельность (ПК-37).

9 Темы для самостоятельного изучения

Темы для самостоятельного изучения обобщают приобретенные знания и позволяют студенту самостоятельно решать поставленные задачи. Тематика самостоятельных работ предполагает углубленное изучение нижепредложенных тем.

1. Зависимость положения уровня Ферми от концентрации примесей и температуры полупроводника.

2. Инжекция не основных носителей, сохранение условия нейтральности при инжекции.

3. Зависимость параметров р-п — перехода от режима смещения.

4. Причины отклонения реальной ВАХ диодов от идеальной.

5. Особенности конструкции мощных транзисторов.

6. Сравнительные параметры полевых и биполярных транзисторов.

7. Фазо-импульсный метод управления тиристорами.

8. Применение однопереходных транзисторов и диодов с S - образной характеристикой.

9. Логические элементы на биполярных транзисторах.
 10. Классификация логических элементов.
 11. Основные характеристики логических элементов.
 12. Дифференциальные каскады на полевых транзисторах.
 13. Схемотехника операционных усилителей
- По одной выбранной теме студент пишет реферат

10 Заключение

В итоге изучения тем студент должен твердо, как минимум знать следующие вопросы.

1. Объясните смысл электронной и дырочной проводимости.
2. Чем обусловлена контактная разность потенциалов?
3. Каково влияние внутреннего электрического поля р-п – перехода на движение основных и неосновных носителей тока?
4. Объясните вольт-амперную характеристику диода?
5. Что такое емкость р-п-перехода? Объясните зависимость емкости от напряжения на переходе.
6. Как изменяется сопротивление диода от полярности приложенного напряжения?
7. Чем объясняется сильное влияние температуры на характеристики диода?
8. Назовите основные параметры диода.
9. Нарисуйте устройство плоскостного диода.
10. Нарисуйте устройство точечного диода.
11. Нарисуйте устройство плоскостного транзистора.
12. Как обозначается на схемах биполярный транзистор р-п-р и п-р-п типа.
13. Назовите основные технологические способы изготовления плоскостных транзисторов.
14. Объяснить работу транзистора.
15. Назовите механизм переноса носителей в базе.
16. Нарисуйте три схемы включения транзистора.
17. Нарисуйте основные характеристики транзистора при включении с общей базой.
18. Нарисуйте основные характеристики транзистора при включении с общим эмиттером.
19. Нарисуйте и объясните зависимость коэффициента передачи транзистора от тока эмиттера.
20. Каков физический смысл h –параметров.
21. Как обозначается на схемах полевые транзисторы с каналами п и р типа.
22. Нарисуйте схему включения полевого транзистора.
23. Расскажите о принципе работы полевого транзистора.

24. Как устроен полевой транзистор с управляющим p-n – переходом.
25. МДП транзисторы
26. Что такое напряжение насыщения.
27. Что такое напряжение отсечки.
28. Нарисуйте эквивалентную схему полевого транзистора.
29. Расскажите о преимуществах полевого транзистора по сравнению с биполярным.
30. Однопереходной транзистор, устройство и принцип его работы.
31. Расскажите принцип работы тиристора.
32. Устройство тиристора и обозначение его на схеме.
33. Вольт амперная характеристика тиристора.
34. Основные параметры тиристора.
35. Динистор, устройство и принцип его работы.
36. Симистор, устройство и принцип его работы.
37. Общие сведения о аналоговых интегральных микросхемах.

Список литературы

1. Твердотельная электроника : Учебное пособие для вузов / В. А. Гуртов. - 2-е изд., доп. - М. : Техносфера, 2005. - 406[2] с
2. Полупроводниковые приборы : учебное пособие / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. - 8-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2006. - 478[2] с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Предм. указ.: с. 468-474. - ISBN 5-8114-0368-2
3. Основы микроэлектроники : Учебное пособие для вузов / И. П. Степаненко. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. - 488 с. : ил. - (Технический университет). - Библиогр.: с. 419. - Предм. указ.: с. 488. - ISBN 5-93208-045-0
4. Твердотельные приборы и устройства: учебное пособие / А.С. Шангин – Томск: ТУСУР, 2012. – 156 с. <http://edu.tusur.ru/training/publications/2438>
5. Твердотельная электроника [Текст] : учебное пособие / Н. С. Легостаев, П. Е. Троян, К. В. Четвергов ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 476 с
6. Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы : Справочное пособие / С. В. Якубовский [и др.] ; ред. С. В. Якубовский. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1984 ; М. : Радио и связь, 1985. - 431[1] с
7. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника : Учебное пособие для вузов / Ю. Л. Бобровский [и др.] ; ред. : Н. Д. Федоров. - М. : Радио и связь, 2002. - 560 с

8. Исследование статических характеристик транзистора: методические указания к лабораторным занятиям / С.И. Арестов, А.С. Шангин. – Томск: ТУСУР, 2013. – 21 с. <http://edu.tusur.ru/training/publications/>

9. Исследование импульсных свойств биполярного транзистора: методические указания к лабораторным занятиям / С.И. Арестов, А.С. Шангин. – Томск: ТУСУР, 2013. – 14 с. <http://edu.tusur.ru/training/publications/>

10. Исследование статических характеристик полевого транзистора: методические указания к лабораторным занятиям / С.И. Арестов, А.С. Шангин. – Томск: ТУСУР, 2013. – 16 с. <http://edu.tusur.ru/training/publications/>

11. Твердотельные приборы и устройства: методические указания к практическим занятиям / Л.Н. Орликов – Томск: ТУСУР, 2013. – 15 с. <http://edu.tusur.ru/training/publications/>

Учебное пособие

Орликов Л.Н.

Твердотельные 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