

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

Кафедра электронных приборов

ЭЛЕКТРОНИКА 2. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов специальности
210601.65 - Радиоэлектронные системы и комплексы

2014

Орликов Леонид Николаевич.

Электроника 2. Электронные приборы. Методические указания по самостоятельной работе для студентов специальности 210601.65 - Радиоэлектронные системы и комплексы / 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, 2014. – 16 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. Отдельные фрагменты тем могут составлять предмет научных исследований.

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- готовностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ПК-3);
- способностью разрабатывать структурные и функциональные схемы радиоэлектронных систем и комплексов, а также принципиальные схемы радиоэлектронных устройств (ПК-9);
- способностью участвовать в наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов радиоэлектронных устройств и систем (ПК-13).

Пособие предназначено для студентов специальности 210601.65 - Радиоэлектронные системы и комплексы по дисциплине «Электроника 2. Электронные приборы»

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.

ЭЛЕКТРОНИКА 2. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов специальности 210601.65 - Радиоэлектронные системы и
комплексы

Разработчик
д-р техн. наук, проф.каф.ЭП
_____ Л.Н.Орликов
« ____ » _____ 2014 г

Введение

Целью дисциплины является изучение студентами принципов и особенностей работы основных полупроводниковых и электровакуумных приборов, интегральных элементов, технологии их изготовления и основ микросхемотехники аналоговых и цифровых схем.

Данные методические указания ставят своей целью оказать помощь студентам в изучении новейших радиоэлектронных приборов функциональной электроники. 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.

Единая методическая схема освоения раздела традиционна: прежде всего рассматриваются физические процессы в структуре прибора, являющиеся общими как для интегральных, так и для дискретных приборов. Далее проводится параметризация приборов в основных режимах эксплуатации. В заключение приводятся особенности и сравнение различных приборов между собой при эксплуатации в том или ином режиме.

Раздел 1. Полупроводниковые диоды

1.1 Содержание раздела

Классификация, назначение, характеристики и параметры. Электрические модели некоторых диодов. Стабилитроны. Импульсные диоды. СВЧ- диоды. Диоды с барьером Шоттки (ДБШ). Варикапы. P-i-n – диоды. Влияние конструктивно-технологических особенностей структуры на параметры диодов.

1.2 Методические указания по изучению раздела

В данном разделе следует обратить внимание на функциональные возможности различных приборов, рассмотреть общие вопросы применения полупроводниковых приборов, особенности режимов эксплуатации. Желательно повторить основные положения физики полупроводников, вспомнить современные представления о физических эффектах в полупроводниках при больших концентрациях носителей заряда, сильных полях. Особого внимания заслуживают вопросы физики переходов с барьером Шоттки, быстродействующие диоды Шоттки, перспективные в силовой электронике. Обратите внимание на специальные диоды. Например PIN-диод — разновидность диода, в котором между областями электронной (n) и дырочной (p) проводимости

находится собственный (нелегированный, англ. intrinsic) полупроводник (i-область). p и n области как правило легируются сильно. Применяются они в ограничительных и переключающих СВЧ устройствах.

1.3 Вопросы для самопроверки

- 1 Что называется p-n-переходом?
- 2 Дайте определение плоского резкого и плавного p-n-переходов?
- 3 Поясните физические процессы в p-n-переходе в условиях термодинамического равновесия.
- 4 Что называется контактной разностью потенциалов?
- 5 Чем обусловлен потенциальный барьер для электронов и дырок в области p-n-перехода и как он зависит от внешнего напряжения, прикладываемого к p-n-переходу ?
- 6 Как зависит глубина проникновения области пространственного заряда по разные стороны p-n-перехода от концентрации примесей ?
- 7 Что называется зарядной (барьерной) емкостью p-n-перехода? Поясните зависимость этой емкости от величины и полярности внешнего напряжения на p-n-переходе .
- 8 Что называется диффузионной емкостью p-n-перехода?
- 9 Поясните в чем отличие реальной вольт-амперной характеристики диода от теоретической и чем это обусловлено ?
10. Нарисуйте эквивалентную схему диода на переменном токе при прямом и обратном напряжении на диоде.
- 11 Поясните зависимость вольт-амперной характеристики диода от температуры.
12. Дайте определение и поясните физический смысл тока насыщения диода.
13. Как изменится вольт-амперной характеристика, если рекомбинация идет преимущественно в области пространственного заряда?
14. Pin-диод, особенности легирования, применение

Раздел 2. Биполярные транзисторы (БТ)

2.1 Содержание раздела

Схемы включения БТ с общей базой (ОБ), общим эмиттером (ОЭ) и общим коллектором (ОК). Режимы работы БТ. Использование статических вольт-амперных характеристик для расчета рабочих точек. Система дифференциальных параметров БТ. Связь токов электродов и дифференциальных h-параметров в различных схемах включения. Частотные свойства БТ, характеристические частоты, эквивалентные схемы в режиме малого сигнала. Дрейфовый транзистор, роль встроенного внутреннего поля. Импульсные свойства БТ в схемах ОБ и ОЭ в ключевом

режиме работы, его параметры и преимущества. Виды и источники шумов, способы их оценки в БТ

2.2 Методические указания по изучению раздела

В данном разделе следует обратить внимание на фундаментальные ограничения работы биполярных транзисторов по мощности, по частоте, а также рассмотреть область безопасной работы и физические явления, определяющие ее границы. Следует обратить внимание на моделирование работы приборов с точки зрения их эксплуатации в электронном устройстве, области применения моделей приборов и критерии выбора моделей.

2.3 Вопросы для самопроверки

1. Что такое биполярный транзистор?
2. Области применения биполярных транзисторов?
3. Основные параметры транзистора.
4. Как зависит коэффициент передачи тока и входное сопротивление транзистора от частоты входного сигнала?
5. Объяснить по эквивалентной схеме транзистора причины частотной зависимости параметров транзистора.
6. Что такое частотные параметры?
7. Зависят ли частотные параметры от режима работы транзистора по постоянному току?
8. Как осуществляется измерение $|\beta|$ на частотах до 10 МГц?
9. Как осуществляется измерение $|\alpha|$ на низких и средних частотах?

Раздел 3. Полевые транзисторы

3.1 Содержание раздела

Классификация полевых транзисторов (ПТ). Статические характеристики и параметры ПТ с управляющим переходом. ПТ с изолированным затвором со встроенным и индуцированным каналом. Особенности ПТ на арсениде галлия с затвором на основе барьера Шотки и ПТ на основе гетеропереходов. Частотные свойства ПТ, электрические модели и их параметры. Влияние параметров структуры и режимов работы на параметры ПТ. Виды и источники шумов в ПТ. Сравнение параметров ПТ и БТ. Полевые приборы с зарядовой связью.

3.2 Методические указания по изучению раздела

В данном разделе следует обратить внимание на сравнение работы обычных и мощных полевых транзисторов. Следует дать анализ физических основ работы, основные характеристики и параметры, основы

эксплуатации в ключевом и усилительном режимах, построение цепей управления. Следует обосновать, почему полевые транзисторы потеснили биполярные транзисторы на мировом рынке полупроводниковых приборов.

3.3 Вопросы для самопроверки

1. Как обозначаются на схемах полевые транзисторы с каналами n и p типа?
2. Нарисуйте схему включения полевого транзистора
3. Расскажите о принципе работы полевого транзистора с каналами типа n.
4. Как устроен полевой транзистор с управляющим p-n переходом?
5. Что такое напряжение насыщения?
6. Нарисуйте стоковую характеристику.
7. Что такое напряжение отсечки?
8. Нарисуйте стоко-затворную характеристику.
9. Перечислите основные параметры полевого транзистора.
10. Нарисуйте эквивалентную схему полевого транзистора по сравнению с биполярным транзистором.

Раздел 4. Полупроводниковые приборы с отрицательным дифференциальным сопротивлением

4.1 Содержание раздела

Физический смысл отрицательного дифференциального сопротивления в приборах с ВАХ N- и S-типа. Принципы действия, ВАХ, основные параметры, и применение однопереходного транзистора, туннельного диода.

4.2 Методические указания по изучению раздела

Для проработки темы следует ознакомиться с применением полупроводниковых приборов специального назначения.

К диодам, имеющим отрицательное дифференциальное сопротивление, относятся туннельный диод, лавинно-пролетный диод, диод Ганна, диодный тиристор и некоторые другие. В этом параграфе будут рассмотрены туннельный диод и диод Ганна. В туннельном диоде используется туннельный эффект - прохождение электронов сквозь потенциальный барьер без изменения их энергии, а в диодах Ганна - объемные эффекты в некоторых полупроводниковых материалах

Туннельный диод представляет собой p-n переход с сильнолегированными p- и n-областями, которые создают запирающий слой с толщиной около 0,01 мкм. Большая доза примеси в полупроводниковом материале вызывает смещение уровня Ферми

WF настолько, что он располагается у электронного полупроводника в зоне проводимости, а у дырочного - в валентной зоне.

В состоянии равновесия ($U=0$) у любого p-n перехода происходит смещение энергетических зон полупроводников с различным типом проводимости до состояния, при котором их уровни Ферми оказываются на одной горизонтальной линии

4.3 Вопросы для самопроверки

1. Понятие отрицательного сопротивления и отрицательной проводимости
2. Физика работы туннельного диода, как прибора с отрицательным дифференциальным сопротивлением
3. Лавинно-пролетный диод и его характеристики
4. СВЧ Диод Ганна, характеристика, применение
5. Диодный тиристор и его применение
6. Однопереходный транзистор
7. Варикапы
8. Кремниевый стабилитрон
9. Вертикальные полевые транзисторы с диодом Шотки с характеристикой лямбда диода
10. Применение приборов с отрицательным дифференциальным сопротивлением
11. Магнитоуправляемые диоды
12. Структуры металл-окисел-окисел металл

Раздел 5. Базовые логические элементы

5.1 Содержание раздела

Недостатки простейшей схемы И-НЕ. Базовый логический элемент ТТЛ с повышенной нагрузочной способностью. Основные недостатки ТТЛ.

Базовый логический элемент ЭМСЛ. Основные достоинства и недостатки ЭМСЛ. Логические элементы И-НЕ, ИЛИ-НЕ с применением МОП транзисторов.

Логические элементы И-НЕ, ИЛИ-НЕ с применением КМОП транзисторов.

Сравнение логик различных типов по энергопотреблению и быстродействию.

5.2 Методические указания по изучению раздела

Основой цифровой электроники являются логические элементы. На их основе состоят различные триггеры, дешифраторы, счётчики и т.д. Из транзисторов собраны логические элементы, из логических элементов

собраны различные счётчики, дешифраторы, триггеры, а из триггеров озу память и т.д., а всё вместе в сборе получается, процессор. По таблице истинности понять работу логических элементов нетрудно.

5.3 Вопросы для самопроверки

1. Логический элемент «И» как выполняющий функцию умножения
2. Перечислите функции базовых логических элементов, ИЛИ, НЕ
3. Таблица истинности для элемента ИЛИ (микросхема К 155ЛЛ1)
4. Элементы ИЛИ-НЕ на МОП и КМОП транзисторах
5. Элемент НЕ как инвертор
6. Элемент И-НЕ как инвертор сигнала (микросхема ЛА:К155ЛА3)
7. Приведите пример применения логических элементов
8. RS триггер как ОЗУ на 1 бит
9. Логический элемент «Исключительное ИЛИ»
10. Опишите работу вентильного элемента таблицей истинности

Раздел 6. Оптоэлектронные приборы

6.1 Содержание раздела

Классификация. Электровакуумные фотоэлементы и фотоумножители. Полупроводниковые фотоприемники: фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры. Шумы фотодетекторов. Светоизлучающие диоды (СИД), индикаторы и матричные экраны на основе СИД. Жидкокристаллические индикаторы. Оптопары резисторные, диодные, транзисторные и тиристорные. Оптоэлектронные интегральные приборы. Фотоприемники на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС).

6.2 Методические указания по изучению раздела

В данном разделе следует обратить внимание на параметры оптического излучения и характеристики полупроводниковых излучателей, параметры и характеристики фотоприемников и оптопар. Важным является электрические параметры излучательных приборов и приемников излучения. Следует провести сравнение параметров обычных излучательных диодов и диодов на основе гетероструктур. Важно различать работу фотодиодов в фотогальваническом и фотодиодном режиме. Полупроводниковые лазеры.

6.3 Вопросы для самопроверки

1. Принцип работы ФЭУ. Методы фокусировки и управления электронным потоком в приборе.
2. Основные параметры ФЭУ.

3. Основные характеристики ФЭУ. Определить параметры ФЭУ по характеристикам.
4. Интегральная чувствительность ФЭУ. Способы её определения.
5. Коэффициент усиления ФЭУ, способы его определения.
6. Зависимость интегральной чувствительности от U_a .
7. Каскадная характеристика ФЭУ.
8. Анодная характеристика ФЭУ.
9. Чем определяется предельно допустимый анодный ток ФЭУ?
10. Перечислите и дайте определения оптическим параметрам СИД
11. Основные особенности излучательных диодов на основе гетероструктур.
12. сформулируйте необходимые условия генерации лазерного излучения.
13. нарисуйте семейство ВАХ фотодиода и покажите области диодного и фотогальванического режима
14. поясните, почему в отличие от обычного диода, фотодиод не может работать при прямом смещении.
15. Преимущества и недостатки лавинных фотодиодов
16. Структура прибора с зарядовой связью

Раздел 7. Насыщенный ключ на биполярном транзисторе

7.1 Содержание раздела

Принципиальная схема насыщенного ключа. Статические режимы насыщенного ключа. Переходные процессы в насыщенном ключе при открывании транзистора. Переходные процессы в насыщенном ключе при закрывании транзистора. Методы и схемные решения позволяющие уменьшить время переходного процесса в насыщенном ключе.

7.2 Методические указания по изучению раздела

В данном разделе обращается внимание на физические процессы в структуре прибора, являющиеся общими как для интегральных, так и для дискретных приборов. Далее проводится параметризация приборов в основных режимах эксплуатации. В заключение приводятся особенности и сравнение различных приборов между собой при эксплуатации в том или ином режиме. Насыщенный ключ – это усилитель, работающий в режиме класса D. (Транзисторный усилитель с общим эмиттером). Для анализа работы схем необходимо повторить законы Кирхгофа. Это триггеры, коммутаторы, блокинг- генераторы, ключевые устройства.

7.3 Вопросы для самопроверки

1. Нарисуйте схему транзисторного ключа.
2. Назовите основные параметры электронного ключа.

3. Что такое степень насыщения ключа?
4. Чем определяется длительность положительного фронта коллекторного импульса?
5. Расскажите о процессе накопления носителей в базе.
6. Как зависит время рассасывания от степени от степени насыщения?
7. Для чего вводится нелинейная обратная связь в базокolleкторную цепь транзисторного ключа?
8. Нарисуйте схему ключа с нелинейной обратной связью.
9. Понятие режима глубокой отсечки
10. Характеристика отсечки

Раздел 8. Микроэлектроника

8.1 Содержание раздела

Классификация микросхем по функциональному назначению – цифровые и аналоговые.

Особенности структур биполярных транзисторов интегральных микросхемах. Литография в микроэлектронике. Методы изоляции отдельных элементов интегральных схем. Назначение скрытого эпитаксиального слоя. Образование паразитных транзисторов при изоляции р-п переходами. Многоэмиттерные транзисторы. Модель интегрального биполярного транзистора.

МДП-транзисторы с каналами n-типа и самосовмещёнными затворами. Комплементарные структуры. Полевые транзисторы с управляющим переходом. Простейшая структура металл-полупроводник (МЭП-транзистор). Полупроводниковые резисторы в микросхемах. Плёночные резисторы, конденсаторы и индуктивные элементы в микросхемах.

8.2 Методические указания по изучению раздела

Для успешного освоения раздела необходимо ознакомиться с материалом по особенностям формирования переходов на границе металл-полупроводник, металл- диэлектрик и их комбинации.

8.3 Вопросы для самопроверки

1. Каковы особенности структур биполярных транзисторов интегральных микросхем
2. Приведите схему построения многоэмиттерного транзистора
3. Что такое МЭП- транзистор
4. Как выполняются резисторы и конденсаторы в микросхемах
5. МДП транзистор в интегральных микросхемах
6. Методы изоляции интегральных микросхем

7. Как работают полупроводниковые резисторы в микросхемах
8. Транзисторы с диодом Шоттки в микроэлектронике.
9. Назначение скрытого эпитаксиального слоя.
10. Как формируются пленочные резисторы в микросхемах

9 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 при выполнении лабораторной работы разбивается на следующие этапы: вступительный, проведение эксперимента и обработка результатов.

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 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. 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.

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 ней 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. 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. 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.

На последнем этапе работы студент производит обработку данных измерений и анализ полученных результатов.

Отчет студента по работе должен быть индивидуальным, а не бригадным. Отчет студента должен представлять собой пусть небольшую, но законченную работу, хорошо оформленную и грамотно изложенную.

Ниже приведены названия лабораторных работ.

1. Исследование полупроводниковых стабилитронов.
2. Исследование частотных свойств биполярного транзистора
3. Исследование рабочих точек биполярного транзистора
4. Исследование импульсных свойств биполярного транзистора

Лабораторные работы являются многоуровневыми. Развитие уровня познания проводится по схеме: ознакомление (фронтальная работа), экспериментальный анализ и расчет отдельной схемы. Например, схем включения транзисторов. Далее следует исследование особенностей полученных параметров. После этого проводится анализ расчетов, моделирование граничных условий, анализ формул описания процесса.

10 Темы для самостоятельного изучения разделов

Темы для самостоятельного изучения дополняют и углубляют лекционный материал. Тематика самостоятельных работ предполагает анализ достижений в области радиоэлектроники. Отдельные фрагменты тем могут составлять предмет научных исследований. Ответность по разделам включается в индивидуальном задании. В таблице 10.1 приведено содержание разделов для самостоятельного изучения.

Содержание тем для самостоятельного изучения

№	Раздел	Тема самостоятельного изучения
1	Полупроводниковые диоды	Стабилитроны. Импульсные диоды. СВЧ- диоды. Диоды с барьером Шоттки
2	Биполярные транзисторы (БТ)	Схемы включения БТ с общей базой (ОБ), общим эмиттером (ОЭ) и общим коллектором (ОК). Режимы работы БТ.
3	Полевые транзисторы	Классификация полевых транзисторов (ПТ). Статические характеристики и параметры ПТ с управляющим переходом.
4	Полупроводниковые приборы с отрицательным сопротивлением	Физический смысл отрицательного дифференциального сопротивления в приборах с ВАХ N- и S-типа. Принципы действия, ВАХ, основные параметры,
5	Базовые логические элементы	Базовый логический элемент ТТЛ с повышенной нагрузочной способностью

6	Оптоэлектронные приборы	Полупроводниковые фотоприемники: фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры. Светоизлучающие диоды (СИД
7	Насыщенный ключ на биполярном транзисторе	Принципиальная схема насыщенного ключа. Статические режимы насыщенного ключа. Переходные процессы в насыщенном ключе при открывании транзистора
8	Микроэлектроника	Особенности формирования структур биполярных транзисторов в интегральных микросхемах. Литография в микроэлектронике Особенности формирования структур биполярных транзисторов в интегральных микросхемах. Литография в микроэлектронике

Учебное пособие

Орликов Л.Н.

Электроника 2. Электронные приборы
Методические указания по самостоятельной работе

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