

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра микроэлектроники

Б.С. Колосницын, А.В. Короткевич

***ИСПЫТАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ПРИБОРОВ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ***

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ
для студентов специальности 41 01 02
«Микро- и нанoeлектронные технологии и системы»
заочной и дистанционной форм обучения

Минск 2005

УДК 621.382.8.049.77 (075.8)

ББК 32.844.1 я 73

К 61

Колосницын Б.С.

К 61 Испытание и исследование полупроводниковых приборов и интегральных микросхем: Метод. указания и контрольные задания для студ. спец. 41 01 02 «Микро- и нанoeлектронные технологии и системы» заоч. и дистанц. форм обуч. /Б.С. Колосницын, А.В. Короткевич. – Мн.: БГУИР, 2005. – 20 с.
ISBN 985-444-773-1

Курс «Испытание и исследование полупроводниковых приборов и интегральных микросхем» включает десять тем. К каждой теме прилагаются основная и дополнительная литература, подробные методические указания и вопросы для самопроверки. Приведены задачи и вопросы, входящие в индивидуальное контрольное задание.

УДК 621.382.8.049.77 (075.8)

ББК 32.844.1 я 73

ISBN 985-444-773-1

© Колосницын Б.С., Короткевич А.В., 2005
© БГУИР, 2005

СОДЕРЖАНИЕ

Общие указания

Тема 1. Основы теории качества и надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем

Тема 2. Виды, причины и механизмы отказов полупроводниковых приборов

Тема 3. Контрольно-измерительные операции при производстве интегральных микросхем

Тема 4. Основные принципы и методы измерения параметров полупроводниковых приборов

Тема 5. Определение статических характеристик и измерение статических параметров

Тема 6. Измерение малосигнальных параметров полупроводниковых приборов на низких частотах

Тема 7. Измерение параметров физических эквивалентных схем

Тема 8. Измерение и исследование тепловых параметров и характеристик

Тема 9. Измерение и исследование шумовых параметров и характеристик

Тема 10. Испытания полупроводниковых приборов и интегральных микросхем

Контрольное задание

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Изучение дисциплины «Испытание и исследование полупроводниковых приборов и интегральных микросхем» следует вести последовательно по темам. После ознакомления с темой и методическими указаниями необходимо подобрать литературу и законспектировать основные положения темы. При возникновении вопросов следует обратиться на кафедру (устно или письменно).

Программа дисциплины соответствует учебному плану в объеме 34 лекционных часов.

В процессе изучения студент выполняет одну контрольную работу. К экзамену студент допускается только после зачета по контрольной работе.

Распределение дисциплины по темам

Наименование темы	Количество лекционных часов
1. Основы теории качества и надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем	4
2. Виды, причины и механизмы отказов полупроводниковых приборов	8
3. Контрольно-измерительные операции при производстве интегральных микросхем	4
4. Основные принципы и методы измерения параметров полупроводниковых приборов	2
5. Определение статических характеристик и измерение статических параметров	4
6. Измерение малосигнальных параметров полупроводниковых приборов на низких частотах	4
7. Измерение параметров физических эквивалентных схем	2
8. Измерение и исследование тепловых параметров и характеристик	2
9. Измерение и исследование шумовых параметров и характеристик	2
10. Испытания полупроводниковых приборов и интегральных микросхем	2

Литература

Основная

1. Горлов М.И., Королев С.Ю. Физические основы надежности интегральных микросхем: Учеб. пособие. – Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1995.
2. Чернышев А.А. Основы надежности полупроводниковых приборов и ИМС. – М.: Радио и связь, 1988.
3. Аронов В.Л., Федотов Я.А. Испытание и исследование полупроводниковых приборов. – М.: Высш. шк., 1975.
4. Достанко О.А. Методы испытания микросхем. – Мн.: МГВРК, 1998.

Дополнительная

1. Козырь И.Я. Качество и надежность ИМС. – М.: Высш. шк., 1987.
2. Измерение и контроль в микроэлектронике / Под ред. А.А. Сазонова. – М.: Высш. шк., 1984.
3. Ефимов И.Е., Кальман И.Г., Мартынов В.И. Надежность твердых интегральных микросхем. – М.: Изд-во стандартов, 1979.
4. Пряников В.С. Прогнозирование отказов полупроводниковых приборов. – М.: Энергия, 1978.
5. Николаевский И.Ф., Игумнов Д.В. Параметры и предельные режимы работы транзисторов. – М.: Сов. радио, 1971.
6. ГОСТ 20003-74. Транзисторы биполярные. Термины, определения и буквенные обозначения параметров.
7. ГОСТ 18604-83. Транзисторы биполярные. Методы измерений.
8. ГОСТ 19095-73. Транзисторы полевые. Термины, определения и буквенные обозначения параметров.
9. ГОСТ 18604-83. Транзисторы полевые. Методы измерения электрических параметров
10. ОСТ 11 073 013-83. Микросхемы интегральные. Методы испытаний.

Тема 1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Основные термины и определения. Комплексный количественный показатель качества. Надежность как важнейший показатель качества продукции. Количественные показатели надежности. Свойства надежности. Надежность полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.

Литература

Основная

[1, с. 5–43; 2, с. 29–50; 3, с. 276–300].

Дополнительная

[2, с. 7–15; 3, с. 17–31; 4, с. 14–17].

Методические указания

Изучение дисциплины следует начать с усвоения базовых терминов и понятий. Обратите внимание на различие между терминами «измерение», «контроль», «испытание», «диагностика», уясните роль вышеприведенных процессов в технологии изготовления интегральных микросхем.

Рассмотрите показатели качества и проанализируйте, как они учитываются при количественной оценке качества с помощью комплексного количественного показателя качества Q , придумайте свой пример оценки качества какого-либо изделия с использованием показателя Q . Рассматривая свойства надежности, заострите внимание на различии между исправностью и работоспособностью. При изучении показателей надежности уясните различие между частотой отказов (f) и интенсивностью отказов (λ). Обратите внимание на то, что все показатели надежности связаны между собой и что, зная один показатель, можно найти все остальные.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое измерение? контроль? испытание? диагностика? Какова их роль в совершенствовании технологии изготовления ИМС?
2. Может ли изделие быть: неисправным, но работоспособным? исправным, но неработоспособным?
3. Что такое вероятность безотказной работы? вероятность отказа? среднее время наработки до отказа?
4. Какой показатель надежности больше: частота отказов или интенсивность отказов – и почему?
5. Чем обусловлено увеличение интенсивности отказов в начале и в конце срока эксплуатации изделия?
6. Какова связь между интенсивностью отказов и средним временем наработки до отказа для экспоненциального закона распределения вероятности безотказной работы?
7. Можно ли изготовить современную ЭВМ на дискретных элементах?

Тема 2. ВИДЫ, ПРИЧИНЫ И МЕХАНИЗМЫ ОТКАЗОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Классификация отказов. Отказы металлизации. Отказы контактных соединений. Отказы, обусловленные явлениями в объеме и на плоскости полупроводникового кристалла. Использование НЧ-шума для прогнозирования отказов полупроводниковых приборов.

Литература

Основная

[1, с. 74–129; 2, с. 102–147].

Дополнительная

[3; с. 31–61; 4, с. 25–49].

Методические указания

Следует помнить, что все отказы можно свести к двум видам: наличие контакта там, где его не должно быть («короткое замыкание»), или отсутствие контакта там, где он должен быть («обрыв»). Рассмотрите основные недостатки алюминиевой металлизации и то, каким образом они приводят к отказам. При рассмотрении явления электромиграции обратите внимание на то, что *положительные* ионы металла переносятся в направлении *положительного* электрода, увлекаемые потоком электронов. Выясните влияние температуры и плотности тока на скорость массопереноса. Разберитесь, в чем разница между механизмами химической и электрохимической коррозии. Обратите внимание на роль ступенек при возникновении обоих видов отказов в многоуровневых системах межсоединений, рассмотрите методы планаризации. Изучая причины возникновения отказов в сварных соединениях, рассмотрите механизм образования интерметаллических соединений, положительные и отрицательные аспекты этого явления. Подумайте, где еще встречаются интерметаллические соединения. Сравните основные причины возникновения отказов и причины увеличения НЧ-шумов.

Вопросы для самопроверки

1. В какой части микросхем наиболее часто встречаются отказы?
2. Каковы основные причины отказов металлизации?
3. Каковы причины отказов многоуровневых систем межсоединений? Что делают для устранения причин отказов?

4. Каковы недостатки и достоинства алюминиевой металлизации?
5. Чем обусловлено явление электромиграции в тонкопленочных проводниках? Какие факторы оказывают наибольшее влияние на него?
6. Чем обусловлены отказы в сварных соединениях?
7. Почему возможно использование НЧ-шумов для прогнозирования отказов полупроводниковых приборов.

Тема 3. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Пооперационный контроль при производстве интегральных микросхем.

Конструкция ИМС. Краткие сведения о технологии изготовления интегральных микросхем. Базовые технологические операции. Операции контроля и измерения при разделении кремниевых слитков на пластины, в процессе формирования полупроводниковых структур, при проведении скрайбирования, сборки и герметизации.

Методы измерения и контроля параметров технологических сред, полупроводниковых пластин, эпитаксиальных и полупроводниковых структур.

Технологические среды: параметры, методы измерения и контроля. Дефекты полупроводниковых пластин, методы их контроля. Методы измерения геометрических размеров и электрофизических параметров полупроводниковых пластин и структур.

Пассивные элементы ИМС: тонкопленочные резисторы, конденсаторы, многоуровневые системы межсоединений. Основные параметры и методы их измерения.

Литература

Дополнительная

[2, с. 15–88].

Методические указания

Начиная изучение этой темы, рассмотрите обобщенную конструкцию ИМС, базовые технологические операции (шлифовка и полировка кремниевых пластин, окисление, эпитаксия, диффузия, фотолитография, осаждение тонких пленок, сборка и герметизация); вспомните основные технологические маршруты изготовления интегральных микросхем.

Проанализируйте, какие геометрические, электрофизические величины следует измерять и контролировать при производстве ИМС, в какой последовательности и на каких технологических операциях. Рассмотрите методы измерений и подумайте, как влияют результаты измерений на качество ИМС.

Перед рассмотрением методов измерения и контроля параметров технологических сред следует уяснить, что в современной микроэлектронике большинство технологических операций производится в специальных условиях – технологических средах, материалы, используемые для технологических процессов, имеют высочайшую чистоту, а оборудование особую точность. Подумайте, зачем это необходимо и какое влияние оказывает «культура производства» на надежность ИМС.

Вопросы для самопроверки

1. Какова роль контрольно-измерительных операций в технологии производства ИМС?
2. В чем суть четырехзондового метода измерения удельного сопротивления?
3. Какие вы знаете технологические среды?
4. Чем обусловлена необходимость контроля технологических сред?
5. По каким параметрам контролируют деионизованную воду?
6. Зачем контролировать чистоту воздушной среды в производственных помещениях? Какие классы чистоты вы знаете?

Тема 4. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Статические параметры. Параметры эквивалентного двухполюсника и четырехполюсника, измеряемые с помощью малого сигнала. Параметры физической эквивалентной схемы. Импульсные параметры. Тепловые параметры. Параметры, характеризующие шумовые свойства. Параметры, характеризующие надежность.

Генератор тока и генератор напряжения в технике измерения полупроводниковых приборов.

Метод замещения. Мостовой метод. Осциллографический метод.

Литература

Основная

[3, с. 7–33].

Методические указания

В начале изучения темы проанализируйте принципы классификации параметров полупроводниковых приборов.

Из курса электротехники вспомните определения идеального генератора напряжения (ГН) и идеального генератора тока (ГТ). Обратите внимание на различие реальных и идеальных ГН и ГТ. Рассмотрите методы определения внутреннего сопротивления ГН и ГТ.

При анализе методов измерения обратите внимание на условия, которые необходимо выполнить для соблюдения корректности измерений. Детально рассмотрите достоинства и недостатки каждого из изучаемых методов.

Вопросы для самопроверки

1. Какие параметры полупроводниковых приборов вы знаете?
2. Как определяют внутренние сопротивления ГН и ГТ?
3. В чем заключается метод замещения?
4. Какое принципиальное отличие метода замещения от мостового?
5. Какие преимущества и недостатки осциллографических методов измерения?

Тема 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ИЗМЕРЕНИЕ СТАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Системы статических характеристик. Определение рабочей точки транзистора с помощью вольт-амперных характеристик (ВАХ). Методы определения ВАХ. Устройство и принцип работы характериографа.

Статические параметры диодов: прямое напряжение, обратный ток, пробивное напряжение. Схемы и принципы измерения.

Система статических параметров транзисторов: напряжение насыщения, коэффициенты передачи тока (α и β), начальные и обратные токи, пробивные напряжения, напряжение переворота фазы базового тока, граничное напряжение. Схемы и принципы измерения.

Методика снятия ВАХ приборов с отрицательным дифференциальным сопротивлением. Статические параметры туннельных диодов и методы их измерения.

Литература

Основная

[3, с. 55–88].

Дополнительная

[6, 7].

Методические указания

Изучение этой темы начните с анализа систем статических характеристик транзисторов: рассмотрите, сколько можно построить систем характеристик, сколько характеристик входит в одну систему. Подумайте, какие сведения о свойствах полупроводниковых приборов можно получить с помощью статических характеристик. Рассматривать методы снятия статических характеристик начинайте с простейшего метода «по точкам», затем, анализируя преимущества и недостатки данного метода, переходите к осциллографическим методам, в рамках которых детально изучите устройство и принцип работы характериографа.

Рассматривая систему статических параметров транзисторов, обратите внимание на то, что они характеризуют основные режимы работы транзистора: активный, отсечки, насыщения, пробоя. Выясните, какой параметр характеризует какой режим работы, разберитесь с буквенными обозначениями токов и напряжений. Обратите внимание на то, что для определения статических параметров, как правило, используются импульсные методы измерения, подумайте, чем это вызвано.

Рассматривая методы определения ВАХ туннельных диодов, обратите внимание на необходимость обеспечения устойчивости измерительной установки.

Вопросы для самопроверки

1. Что характеризуют статические параметры транзисторов?
2. Какие вы знаете статические характеристики? Сколько характеристик достаточно для образования полной системы?
3. Почему на характериографе может наблюдаться раздвоение характеристик?
4. Какие статические параметры вы знаете?
5. Зачем при измерении статических параметров используют импульсный ток? Какие требования к длительности импульсов?
6. Каким образом осуществляют измерение статических параметров туннельных диодов?
7. Какой из параметров туннельного диода больше: напряжение пика U_p или напряжение впадины U_v ?

Тема 6. ИЗМЕРЕНИЕ МАЛОСИГНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ НА НИЗКИХ ЧАСТОТАХ

Малосигнальные (дифференциальные) параметры полупроводниковых приборов на низких частотах. Системы y -, z - и h -параметров. Методика измерения дифференциального сопротивления стабилитрона. Измерение h -параметров бипо-

лярных транзисторов: принципы, схемы, требования к элементам схемы, методика проведения измерений и обработки результатов.

Литература

Основная

[3, с. 89–103].

Дополнительная

[6–8].

Методические указания

Начать рассмотрение темы следует с выяснения физического смысла дифференциальных (малосигнальных) параметров полупроводниковых приборов. Следует уяснить, что они характеризуют и зачем вводятся. Обратите внимание на то, что при приложении малых сигналов транзистор можно рассматривать как линейное устройство, а также на то, что низкочастотные дифференциальные параметры связаны со статическими характеристиками и поэтому их называют квазистатическими. Рассмотрите способы записи функциональной связи между токами и напряжениями в транзисторе и физический смысл y -, z - и h -параметров. Рассмотрение методов измерения дифференциальных параметров проводите в следующей последовательности: определение, физический смысл параметра, условия измерения, схема, требования к элементам схемы. Обратите особое внимание на роль переменного сигнала при измерении дифференциальных параметров. Для выявления физической сущности параметра целесообразно использовать графический метод определения с использованием вольт-амперных характеристик.

Вопросы для самопроверки

1. Какие методы определения малосигнальных параметров транзисторов вы знаете?
2. Почему низкочастотные малосигнальные параметры называют квазистатическими?
3. Каким образом с помощью статических характеристик можно определить дифференциальные параметры?
4. Какую роль играет переменный сигнал при измерении дифференциальных параметров? Какие требования к нему предъявляются?
5. Каковы особенности метода измерения h_{216} ?

Тема 7. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФИЗИЧЕСКИХ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ СХЕМ

Виды эквивалентных схем. Параметры эквивалентных схем транзисторов: емкости коллекторного (C_K) и эмиттерного (C_E) переходов, постоянная времени (τ_K), базовое сопротивление (r_6), индуктивность выводов, граничная частота. Принципы, схемы, методики проведения измерений и обработки результатов.

Литература

Основная

[3, с. 123–179].

Дополнительная

[6, 8].

Методические указания

Перед изучением методов измерения параметров эквивалентных схем полупроводниковых приборов следует выяснить, что такое эквивалентная схема, какие виды эквивалентных схем существуют и чем они различаются.

При анализе методов измерения емкостей рассмотрите метод замещения в резонансном контуре и метод резистивно-емкостного делителя. Обратите внимание на то, что во втором случае измеряется не емкость, а модуль полной проводимости р-п-перехода, в связи с этим проанализируйте требования к частоте измерительного генератора: чем частота ограничена «снизу» и «сверху».

Вопросы для самопроверки

1. Какие вы знаете виды эквивалентных схем?
2. Из каких частей состоит емкость коллекторного перехода C_K ?
3. Как влияет активная проводимость на измерение емкости резонансным методом?
4. Как учитывается последовательное и параллельное сопротивление р-п-перехода при измерении емкости методом резистивно-емкостного делителя?
5. Как определяется сопротивление базы транзистора?

Тема 8. ИЗМЕРЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК

Тепловая модель транзистора. Тепловые параметры: максимальная температура р-п-перехода, тепловое сопротивление, теплоемкости, тепловые постоянные.

Методы измерения электрических параметров в диапазоне температур. Методы исследования температуры в активной области прибора. Принцип и методи-

ка измерения теплового сопротивления транзисторов.

Литература

Основная

[3, с. 232–251].

Дополнительная

[5, с. 151–167].

Методические указания

Рассмотрение тепловых параметров начните с изучения тепловой модели транзистора. Рассмотрите процесс распространения тепла от перехода, на котором оно выделяется, к окружающей среде.

Рассмотрите аналогию между электрическими и тепловыми параметрами:

ток	– мощность;
напряжение	– температура;
электрическое сопротивление	– тепловое сопротивление;
электрическая емкость	– теплоемкость;
электрическая постоянная времени	– тепловая постоянная времени.

Рассматривая методику измерения теплового сопротивления, обратите внимание на то, что измеряемая температура перехода ($T_{\text{п}}$) должна соответствовать условию теплового равновесия, при котором мощность, выделяемая на переходе, равна мощности, отводимой в окружающую среду.

В заключение рассмотрите связь между тепловыми параметрами транзистора и максимальными рассеиваемыми мощностями.

Вопросы для самопроверки

1. От каких параметров зависит скорость передачи тепла от перехода в окружающую среду?
2. Чем ограничена максимальная температура перехода?
3. Опишите механизм термоэлектрического пробоя.
4. Почему для определения температуры р-п-перехода используют косвенные методы?
5. Какие вы знаете термочувствительные параметры?
6. Как зависит максимально допустимая рассеиваемая мощность от теплового сопротивления?

Тема 9. ИЗМЕРЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМОВЫХ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК

Виды и источники шумов в полупроводниковых приборах. Шумовые параметры двух- и четырехполюсника. Принцип, схемы и методики проведения измерений шумовой температуры и коэффициента шума.

Литература

Основная

[3, с. 210–231].

Дополнительная

[4, 49–73].

Методические указания

Начать изучение темы следует с выяснения, что означает понятие «электрический шум» и какие параметры его характеризуют. Следует осознать, что, так как шумы являются случайными величинами, то их характеризуют вероятностные параметры: функция распределения, плотность вероятности, математическое ожидание, дисперсия и т.д. Далее следует рассмотреть виды собственных шумов полупроводниковых приборов и выяснить причины и механизмы их возникновения. Обратите внимание на следующее:

- тепловые шумы зависят только от температуры и сопротивления источника шума;
- дробовые шумы появляются только при протекании электрического тока и зависят только от его величины;
- для обозначения шумов типа $1/f$ существует множество терминов: фликкер, избыточные, низкочастотные, контактные и др.;
- $1/f$ -шумы имеют различную природу и механизмы образования, общим для них является обратная зависимость спектральной плотности мощности шума от частоты при низких частотах.

Обратите внимание на общность процессов, обуславливающих низкочастотные шумы и отказы полупроводниковых приборов, и, вследствие этого, на возможность контроля качества приборов по уровню НЧ-шума.

Далее рассмотрите параметры двух- и четырехполюсника и методы их измерения на низкой и высокой частотах.

Вопросы для самопроверки

1. Какими видами шумов характеризуется работа полупроводниковых приборов?
2. Почему тепловой и дробовой шум называют «белыми» шумами?
3. Какие дефекты характеризуются НЧ-шумами?
4. Что такое спектральная плотность мощности шума?
5. Как определяется коэффициент шума?

Тема 10. ИСПЫТАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Классификация испытаний. Механические, радиационные, климатические испытания. Неразрушающие испытания. Ускоренные испытания. Испытания на надежность. Приемосдаточные испытания.

Литература

Основная

[2, с. 102–177; 3, с. 272–305; 4].

Дополнительная

[3, с. 77–129; 9].

Методические указания

Рассматривать испытания полупроводниковых приборов следует начать с видов внешних воздействий и в соответствии с ними проанализировать классификацию методов испытаний. Следует также рассмотреть градацию испытаний в зависимости от этапов создания изделия. Детально рассмотрите сущность метода выборочного контроля и его связь с приемосдаточными испытаниями.

Вопросы для самопроверки

1. Какие вы знаете виды воздействий?
2. Как связаны объем испытаний и надежность изделия? и себестоимость изделия?
3. Что такое генеральная и выборочная совокупности?
4. Исходя из каких критериев определяется объем выборки?
5. Что такое риск заказчика и риск изготовителя?

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Каждый студент выполняет вариант контрольного задания, номер которого соответствует порядковому номеру фамилии студента в зачетной ведомости.

Номера вопросов и задач, составляющих контрольное задание для каждого варианта, указаны в таблице.

Номер варианта	Номера вопросов и задач	Номер варианта	Номера вопросов и задач	Номер варианта	Номера вопросов и задач
1	1, 31	11	11, 41	21	21, 51
2	2, 32	12	12, 42	22	22, 52
3	3, 33	13	13, 43	23	23, 53
4	4, 34	14	14, 44	24	24, 54
5	5, 35	15	15, 45	25	25, 55
6	6, 36	16	16, 46	26	26, 56
7	7, 37	17	17, 47	27	27, 57
8	8, 38	18	18, 48	28	28, 58
9	9, 39	19	19, 49	29	29, 59
10	10, 40	20	20, 50	30	30, 60

Вопросы и задачи

1. Осциллографические методы исследования параметров полупроводниковых приборов: характеристика, преимущества и недостатки. Принцип работы характериографа – прибора для наблюдения характеристик транзисторов (ПНХТ).

2. Система статических параметров диодов. Метод измерения прямого падения напряжения на диоде. Зачем нужна схема защиты вольтметра от перегрузки?

3. Система статических параметров диодов. Метод измерения обратного тока диода. Какие приемы используются для расширения диапазона измеряемых токов?

4. Система статических параметров диодов. Метод измерения пробивного напряжения.

5. Система статических параметров транзисторов. Метод измерения статического коэффициента передачи тока $h_{21Э}$ на постоянном токе.

6. Система статических параметров транзисторов. Метод измерения статического коэффициента передачи тока $h_{21Э}$ на импульсном токе.

7. Система статических параметров транзисторов. Метод измерения статического коэффициента передачи тока $h_{21Э}$ с использованием нуль-индикатора (компенсационный).

8. Система статических параметров транзисторов. Методы измерения на-

пряжений насыщения коллектор – эмиттер $U_{КЭ\text{ нас}}$ и база – эмиттер $U_{БЭ\text{ нас}}$.

9. Система статических параметров транзисторов. Методы измерения обратных токов транзистора $I_{КБ0}$, $I_{ЭБ0}$, $I_{КЭ0}$, $I_{КЭR}$, $I_{КЭХ}$.

10. Система статических параметров транзисторов. Методы измерения пробивных напряжений транзистора $U_{КБ0\text{ проб}}$, $U_{ЭБ0\text{ проб}}$, $U_{КЭ0\text{ проб}}$, $U_{КЭR\text{ проб}}$, $U_{КЭХ\text{ проб}}$.

11. Система статических параметров транзисторов. Методы измерения граничного напряжения $U_{КЭ0\text{ гр}}$.

12. Параметры туннельных диодов и методы их измерения.

13. Особенности определения статических ВАХ туннельных диодов. Условия устойчивости рабочей точки на характеристике.

14. Метод измерения дифференциального сопротивления стабилитрона в режиме стабилизации на низкой чистоте.

15. Метод измерения входного сопротивления биполярного транзистора в режиме малого сигнала ($h_{11б}$) на низкой чистоте.

16. Метод измерения коэффициента передачи тока биполярного транзистора в режиме малого сигнала ($h_{21б}$) на низкой чистоте.

17. Метод измерения коэффициента обратной связи по напряжению биполярного транзистора в режиме малого сигнала ($h_{12б}$) на низкой чистоте.

18. Метод измерения коэффициента выходной проводимости биполярного транзистора в режиме малого сигнала ($h_{22б}$) на низкой чистоте.

19. Метод измерения крутизны характеристики полевого транзистора (S).

20. Метод измерения активной составляющей выходной проводимости полевого транзистора ($g_{22и}$).

21. Метод измерения входной ($C_{11и}$), проходной ($C_{12и}$) и выходной ($C_{22и}$) емкостей полевого транзистора.

22. Метод измерения емкостей коллекторного (C_K) и эмиттерного ($C_Э$) переходов биполярного транзистора.

23. Метод измерения постоянной времени цепи обратной связи на высокой частоте (τ_K).

24. Метод измерения теплового сопротивления биполярного транзистора.

25. Метод измерения коэффициента шума биполярного транзистора на низкой частоте.

26. Метод замещения в технике измерения параметров полупроводниковых приборов: характеристика, преимущества и недостатки, требования к оборудованию. Измерение $h_{21б}$ на высокой частоте методом замещения.

27. Мостовые методы в технике измерения параметров полупроводниковых приборов: характеристика, преимущества и недостатки, требования к оборудованию. Измерение $y_{11э}$ на высокой частоте мостовым методом.

28. Методика определения рабочей точки транзистора с помощью статических характеристик.

29. Генератор тока в технике измерения параметров полупроводниковых приборов: определение, идеальный ГТ, реальный ГТ, методы определения

внутреннего сопротивления ГТ, примеры схем.

30. Генератор напряжения в технике измерения параметров полупроводниковых приборов: определение, идеальный ГН, реальный ГН, методы определения внутреннего сопротивления ГН, примеры схем.

31. Классификация параметров полупроводниковых приборов.

32. Виды шумов в полупроводниковых приборах.

33. Количественные параметры шумов.

34. Зависимость спектральной плотности мощности НЧ-шума от частоты.

35. Шумовые параметры двух- и четырехполосника.

36. Классификация отказов полупроводниковых приборов.

37. Преимущества и недостатки алюминиевой металлизации.

38. Механизмы химической и электрохимической коррозии алюминиевой металлизации.

39. Электромиграция в алюминиевых проводниках.

40. Отказы многоуровневых систем межсоединений.

41. Отказы в сварных соединениях.

42. Отказы из-за образования интерметаллических соединений.

43. Причины отказов тонкопленочных резисторов.

44. Причины отказов тонкопленочных конденсаторов.

45. Отказы, связанные с явлениями в объеме полупроводникового кристалла.

46. Отказы, вызванные дефектами фотолитографии.

47. Отказы, обусловленные явлениями на поверхности полупроводникового кристалла.

48. Оценка качества продукции с помощью комплексного количественного показателя качества Q .

49. Надежность: определение, основные свойства.

50. Надежность: объект, элемент, система, основные технические состояния объектов.

51. Надежность: понятия «повреждение», «отказ», «дефект». Классификация отказов.

52. Количественные показатели безотказности: вероятность безотказной работы ($P(t)$), вероятность отказа ($Q(t)$).

53. Количественные показатели безотказности: частота отказов ($f(t)$), интенсивность отказов ($\lambda(t)$).

54. Количественные показатели безотказности: средняя наработка до отказа.

55. Аналитическая взаимосвязь между показателями надежности.

56. Определение показателей надежности при экспоненциальном законе распределения.

57. Показатели долговечности и сохраняемости.

58. Определение показателей надежности по результатам испытаний.

59. Испытания на надежность.

60. Классификация испытаний.

Учебное издание

**Колосницын Борис Сергеевич,
Короткевич Александр Васильевич**

**ИСПЫТАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ПРИБОРОВ И ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ**

Методические указания и контрольные задания
для студентов специальности 41 01 02
«Микро- и нанозлектронные технологии и системы»
заочной и дистанционной форм обучения

Редактор Т.А. Лейко
Корректор Н.В. Гриневич
Компьютерная верстка М.В. Шишло

Подписано в печать 20.01.2005.	Формат 60x84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Печать ризографическая.	Усл. печ. л. 1,28.
Уч.-изд. л. 1,0.	Тираж 50 экз.	Заказ 374.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.
Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0133108 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6