

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета радиотехники
и электроники

В.А. Небольсин /

25 ноября 2022 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Физические основы надежности интегральных микросхем»

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 11 мес.

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2023

Автор программы

Вин А.А. Винокуров

И.о.заведующего кафедрой
полупроводниковой электроники
и нанoeлектроники

Строгонов А.В. Строгонов

Руководитель ОПОП

Арсентьев А.В. Арсентьев

Воронеж 2022

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины: изучение основных понятий теории надежности, физических моделей появления отказов, механизмов внезапных и постепенных отказов, влияния электростатических разрядов и ионизирующего излучения на надежность интегральных схем (ИС), механизмов развития отказов ИС при этом и конструктивно-технологических методов повышения надежности ИС.

1.2. Задачи освоения дисциплины:

– ознакомление студентов с основами теории надежности применительно к полупроводниковым изделиям, с физикой отказов, с требованиями ГОСТов по надежности транзисторов и интегральных микросхем;

– освоение студентами последовательности и методов анализа отказавших изделий;

– практическое освоение студентами экспресс-анализа отказавших изделий методом статистической обработки данных, методов расчета надежности интегральных микросхем, методов расчета тепловой деформации внутренних проводников, методов расчета тепловых параметров ИС.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.02 «Физические основы надежности интегральных микросхем» относится к дисциплинам части блока Б1 учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физические основы надежности интегральных микросхем» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-6: готовность к применению современных технологических процессов и технологического оборудования на этапах разработки и производства микроэлектронных приборов и устройств твердотельной электроники;

ПК-7: способность идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере физики, проектирования, технологии изготовления и применения микроэлектронных приборов и устройств.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-6	знать общие сведения об отказах ИС, структурных дефектах компонентов ИС и механизмах отказов ИС, о методах повышения надежности ИС в процессе серийного производства, о коллективных и индивидуальных мерах защиты ИС от воздействия ЭСР, о влиянии радиации на ИС;
	уметь проводить экспресс-анализ отказавших ИС;

	владеть методами расчета надежности ИС по конструктивно-технологическим данным.
ПК-7	знать основные понятия теории надежности; основные показатели надежности, указываемые в технических условиях на ИС;
	уметь оценивать годность структуры ИС визуально и на фотографии;
	владеть статистическими и графическими методами обработки результатов длительных испытаний ИС.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Физические основы надежности интегральных микросхем» составляет 5 зачетных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
Аудиторные занятия (всего)	48	48
В том числе:		
Лекции	16	16
Практические занятия (ПЗ)	16	16
Лабораторные работы (ЛР)	16	16
Самостоятельная работа	105	105
Часы на контроль	27	27
Вид промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость час зач. ед.	180	180
	5	5

Заочная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		9
Аудиторные занятия (всего)	10	10
В том числе:		
Лекции	4	4
Практические занятия (ПЗ)	2	2
Лабораторные работы (ЛР)	4	4
Самостоятельная работа	161	161
Часы на контроль	9	9
Вид промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость час зач. ед.	180	180
	5	5

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Основные понятия в теории качества и надежности. Часть 1	Цели и задачи дисциплины. Возникновение проблемы надежности. Состояние проблемы надежности за рубежом и в России. Стоимость качества и надежности изделий электронной техники (ИЭТ).	2	-	2	9	13
2	Основные понятия в теории качества и надежности. Часть 2	Качество. Надежность. Обеспечение надежности при изготовлении изделий. Признаки деления и виды отказов. Критерии и количественные показатели надежности.	2	-	2	9	13
3	Общие представления об отказах ИС. Часть 1	Общие дефекты в твердых телах. Дефекты в кремниевой подложке. Дефекты пленок поликристаллического кремния. Дефекты структуры диэлектрических слоев. Методы предотвращения указанных дефектов.	2	2	2	10	16
4	Общие представления об отказах ИС. Часть 2	Механизмы внезапных и постепенных отказов диодов и биполярных транзисторов ИС. Отказы пассивных элементов ИС. Дефекты металлизации на кристалле ИС. Механизмы отказов МДП ИС. Методы предотвращения указанных дефектов.	2	2	2	11	17
5	Общие представления об отказах ИС. Часть 3	Требования к конструкции корпусов. Классификация корпусов по технологии изготовления и используемым материалам. Конструкция и надежность различных типов корпусов.	2	2	2	11	17
6	Методы повышения надежности ИС в процессе серийного производства	Состав отбраковочных испытаний. Тренировки. Электротренировка, термотренировка, электротермотренировка. Выбор режима тренировки.	2	2	2	11	17
7	Воздействие электростатических зарядов на полупроводниковые изделия (ППИ). Часть 1	Природа возникновения электростатических зарядов при производстве ИС и радиоэлектронной аппаратуры	2	2	2	11	17
8	Воздействие электростатических зарядов на полупроводниковые изделия (ППИ). Часть 2	Катастрофические и скрытые повреждения ИС под воздействием электростатических разрядов (ЭСР). Порог чувствительности и энергия, необходимая для повреждения ИС. Зависимость количества разрядных импульсов ЭСР, приводящих к катастрофическим отказам ИС, от величины напряжения ЭСР.	2	2	2	11	17
9	Влияние радиации на ИС. Часть 1	Источники радиации. Влияние радиации на кремниевые биполярные логические и аналоговые ИС.	-	2	-	11	13
10	Влияние радиации на ИС. Часть 2	Источники радиации. Влияние радиации на кремниевые биполярные логические и аналоговые ИС. Воздействие радиации на МДП-схемы. Отжиг радиационных повреждений ИС.	-	2	-	11	13
Всего			16	16	16	105	153
Контроль							27
Итого							180

заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Основные понятия в теории качества и надежности. Часть 1	Цели и задачи дисциплины. Возникновение проблемы надежности. Состояние проблемы надежности за рубежом и в России. Стоимость качества и надежности изделий электронной техники (ИЭТ).	1	-	2	15	18
2	Основные понятия в теории качества и надежности. Часть 2	Качество. Надежность. Обеспечение надежности при изготовлении изделий. Признаки деления и виды отказов. Критерии и количественные показатели надежности.	1	-	-	15	16
3	Общие представления об отказах ИС. Часть 1	Общие дефекты в твердых телах. Дефекты в кремниевой подложке. Дефекты пленок поликристаллического кремния. Дефекты структуры диэлектрических слоев. Методы предотвращения указанных дефектов.	1	-	2	15	18
4	Общие представле-	Механизмы внезапных и постепенных отказов диодов и	1	-	-	15	16

	ния об отказах ИС. Часть 2	биполярных транзисторов ИС. Отказы пассивных элементов ИС. Дефекты металлизации на кристалле ИС. Механизмы отказов МДП ИС. Методы предотвращения указанных дефектов.					
5	Общие представления об отказах ИС. Часть 3	Требования к конструкции корпусов. Классификация корпусов по технологии изготовления и используемым материалам. Конструкция и надежность различных типов корпусов.	-	-	-	15	15
6	Методы повышения надежности ИС в процессе серийного производства	Состав отбраковочных испытаний. Тренировки. Электротренировка, термотренировка, электротермотренировка. Выбор режима тренировки.	-	-	-	16	16
7	Воздействие электростатических зарядов на полупроводниковые изделия (ППИ). Часть 1	Природа возникновения электростатических зарядов при производстве ИС и радиоэлектронной аппаратуры	-	1	-	18	19
8	Воздействие электростатических зарядов на полупроводниковые изделия (ППИ). Часть 2	Катастрофические и скрытые повреждения ИС под воздействием электростатических разрядов (ЭСР). Порог чувствительности и энергия, необходимая для повреждения ИС. Зависимость количества разрядных импульсов ЭСР, приводящих к катастрофическим отказам ИС, от величины напряжения ЭСР.	-	-	-	18	18
9	Влияние радиации на ИС. Часть 1	Источники радиации. Влияние радиации на кремниевые биполярные логические и аналоговые ИС.	-	1	-	17	18
10	Влияние радиации на ИС. Часть 2	Источники радиации. Влияние радиации на кремниевые биполярные логические и аналоговые ИС. Воздействие радиации на МДП-схемы. Отжиг радиационных повреждений ИС.	-	-	-	17	17
Всего			4	2	4	161	171
Контроль							9
Итого							180

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Контроль внешнего вида арматур ИС перед герметизацией.
2. Проверка сварных соединений на прочность.
3. Описание дефектов ИС по фотографии.
4. Анализ отказов ИС и предлагаемые меры по их устранению.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Физические основы надежности интегральных микросхем» не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-6	знать общие сведения об отказах ИС, структурных дефектах компонентов ИС и механизмах отказов ИС, о методах повышения надежности ИС в процессе серийного производства, о коллективных и индивидуальных мерах защиты ИС от воздействия ЭСР, о влиянии радиации на ИС;	выполнение теста	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь проводить экспресс-анализ отказавших ИС;	выполнение лабораторной работы, защита лабораторной работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами расчета надежности ИС по конструктивно-технологическим данным.	решение практического задания	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-7	знать основные понятия теории надежности; основные показатели надежности, указываемые в технических условиях на ИС;	выполнение теста	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь оценивать годность структуры ИС визуально и на фотографии;	выполнение лабораторной работы, защита лабораторной работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть статистическими и графическими методами обработки результатов длительных испытаний ИС.	решение практического задания	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 7 семестре для очной формы обучения, в 9 семестре для заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ПК-6	знать общие сведения об отказах ИС, структурных дефектах компонентов ИС и механизмах отказов ИС, о методах повышения надежности ИС в процессе серийного производства, о кол-	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов

	лективных и индивидуальных мерах защиты ИС от воздействия ЭСР, о влиянии радиации на ИС;					
	уметь проводить экспресс-анализ отказавших ИС;	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть методами расчета надежности ИС по конструктивно-технологическим данным.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-7	знать основные понятия теории надежности; основные показатели надежности, указываемые в технических условиях на ИС;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь оценивать годность структуры ИС визуально и на фотографии;	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть статистическими и графическими методами обработки результатов длительных испытаний ИС.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

- Отказ под воздействием ЭСР по модели заряженного прибора происходит под действием:
 - мощности или тока;
 - только мощности;
 - только напряжения.
- Отказ под воздействием ЭСР по модели тела человека происходит под действием:
 - мощности или напряжения;
 - только мощности;
 - только напряжения.
- В модели тела человека R и C имеют значения:
 - $R = 1000 \text{ Ом}$, $C = 100 \text{ пФ}$;
 - $R = 1000 \text{ кОм}$, $C = 100 \text{ нФ}$;
 - $R = 1000 \text{ кОм}$, $C = 100 \text{ мкФ}$.
- Отказ под воздействием ЭСР по модели воздействующего поля происходит под действием:
 - тока;

2. мощности;
 3. напряжения.
5. По относительной чувствительности ИС можно расположить, начиная с наименее чувствительной, в ряд:
1. ТТЛ ИС, МОП ИС, линейные ИС;
 2. ТТЛ ИС, линейные ИС, МОП ИС;
 3. МОП ИС, линейные ИС, ТТЛ ИС.
6. Наиболее распространенные повреждения из-за воздействия ЭСР у биполярных ИС следующие:
1. повреждения переходов;
 2. повреждения металлизации;
 3. повреждения диэлектрика.
7. Ряд по энергии ЭСР, необходимый для повреждения ППИ, имеют:
1. МОП структуры, транзисторы, диоды;
 2. диоды, МОП структуры, транзисторы;
 3. транзисторы, МОП структуры, диоды.
8. Надежность изделия обеспечивается при:
1. конструировании;
 2. эксплуатации;
 3. изготовлении.
9. Правило $P = P_0 \mp \Delta P$ соблюдается на этапе жизненного цикла изделия при:
1. конструировании;
 2. эксплуатации;
 3. изготовлении.
10. Надежность изделия закладывается и сохраняется на этапах:
1. закладывается при изготовлении, сохраняется при эксплуатации;
 2. закладывается при конструировании, сохраняется при изготовлении;
 3. закладывается при конструировании, сохраняется при эксплуатации.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Дайте определение качества полупроводниковых изделий.
2. Какими основными показателями качества пользуются изготовители ППИ?
3. Какие показатели качества используются потребителями изделий?
4. Дайте определение надежности полупроводниковых изделий.
5. Когда закладывается и сохраняется надежность изделий?
6. Когда обеспечивается надежность изделия?
7. Объясните правило $P = P_0 \mp \Delta P$. Приведите пример.
8. Что такое отказ изделия?
9. Объясните понятия: вид и механизм отказа, признаки деления отказов.
10. Какие отказы называются самоустраниющимися?

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Какие ИС должны обязательно подвергаться 100 %-ному анализу?
2. Что обеспечивает проведение анализов отказов?
3. Последовательность проведения анализа отказов.
4. Какие уровни анализа различают в зависимости от сложности и требований к оперативности анализа?
5. Технология удаления защитного покрытия.
6. Методы вскрытия корпусов ИС.
7. Способы вскрытия пластмассовых корпусов.
8. Технология вскрытия пластмассовых корпусов.
9. Механизм обрыва металлизированных дорожек на ступеньках оксида, причины отказа и мероприятия по их устранению.
10. Причины растрескивания полупроводникового кристалла ИС.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Чем обусловлено возникновение проблемы надежности? Примеры цены надежности. Стоимость качества ИС на различных стадиях применения
2. Качество. Надежность. Три этапа обеспечения надежности в процессе конструирования, изготовления, эксплуатации.
3. Исправное и работоспособное состояние. Долговечность и сохраняемость.
4. Понятие отказа изделия. Признаки деления и виды отказов. Механизмы отказов ИЭТ.
5. Вероятность безотказной работы. Определения, свойства, функции.
6. Вероятность появления отказов, свойства функции.
7. Интенсивность отказов, определение, единицы измерения, зависимость от времени и нагрузки.
8. Классификация уровней надежностей для ИЭТ. Зависимость между основными характеристиками надежности.
9. Гамма-процентный срок сохраняемости.
10. Общие дефекты в твердых телах.
11. «Ростовые» и «технологически вносимые», первичные и вторичные дефекты.
12. Механизмы образования отрицательных нитевидных кристаллов.
13. Механизмы растворения кремния алюминием. Способы уменьшения отрицательных эффектов.
14. Механизмы возникновения нитевидных кристаллов.
15. О чем говорит рост аморфных нитей на пластинах кремния?
16. Понятие дефектности или сплошности оксида. Привести примеры сплошности оксида на различных технологических операциях.
17. Причины короткого замыкания в диодах, транзисторах и ИС.
18. Туннельный пробой. Лавинный пробой, причины.
19. Причины вторичного пробоя транзисторов. Прокол базы. Эффект «бильярдного шара».
20. Причины изменения обратного тока планарного p^+-n – диода.
21. Причины изменения обратного тока n^+-p – диода.
22. Причины дрейфа обратных токов и коэффициента усиления по току транзисторов.

23. Виды и причины отказов резисторных и емкостных элементов.
24. Надежность металлизации, основные виды отказов металлизации. Пустоты в форме трещин и клина.
25. Электродиффузия. Какие виды дефектов электродиффузия.
26. Виды дефектов внутренних соединений.
27. Внезапные и постепенные отказы параметров МДП-транзисторов.
28. Пробой подзатворного диэлектрика. Тепловой пробой подзатворного оксида. Пробой перехода сток-подложка.
29. Механизмы химической коррозии.
30. Механизм электрохимической коррозии. Анодные и катодные процессы.
31. Механизм щелочной коррозии.
32. Механизм электролитической коррозии.
33. Капиллярная коррозия.
34. Коррозия в присутствии галогенов. Локальная коррозия.
35. Гальваническая коррозия.
36. Катодная коррозия.
37. Типовая зависимость интенсивности ИЭТ от времени без отбраковочных и с отбраковочными испытаниями. Задачи отбраковочных испытаний. Состав отбраковочных испытаний (визуальные, климатические, механические, электрические) и их комбинации.
38. Что такое тренировка ИЭТ? Критерий правильности выбранного режима тренировки?
39. Методы электротренировки.
40. Статический метод электротермотренировки.
41. Динамические методы электротермотренировки.
42. Что такое тестирование, проводимое одновременно с электротермотренировкой?
43. Продолжительность тренировок и особенности контроля параметров ТТ.
44. Как определить время ЭТТ при малом и большом количестве испытуемых ИС?
45. Количество отказов и их распределение, ЭТТ при неуправляемом процессе и при стабильном техпроцессе. Когда можно перейти от ЭТТ к ТТ ИС? Привести пример, когда необходимо применять два метода ЭТТ (статический и динамический).
46. Какие виды испытаний и их периодичность проводятся на заводе изготовителе ИС?
47. Природа возникновения электростатических зарядов при производстве ИЭТ.
48. Модель тела человека для ЭСР.
49. Модель заряженного прибора для ЭСР. Модель воздействующего поля для ЭСР.
50. Катастрофические и скрытые повреждения ИС под воздействием ЭСР. Порог чувствительности и энергия, необходимая для повреждения ППИ.
51. Зависимость количества разрядных импульсов ЭСР, приводящих к катастрофическим отказам ИС от воздействия ЭСР.
52. Конструктивные методы защиты ИС от напряжения ЭСР.
53. Методы встроенной защиты ИС от воздействия ЭСР. Примеры схем защиты МДП и биполярных ИС от воздействия ЭСР.
54. Характеристики источников радиационного излучения.
55. Влияние радиации на биполярные логические и аналоговые ИС.
56. Влияния радиации на МДП схемы.
57. Воздействие электромагнитных импульсов на ИС при ядерных взрывах.
58. Воздействие рентгеновского излучения на ИС.
59. Влияние конструктивных факторов на радиационную стойкость биполярных БИС.
60. Влияние конструктивных факторов на радиационную стойкость МДП схем.

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по билетам, каждый из которых содержит 3 вопроса. Оценка знаний студентов производится по следующему критерию:

- оценка «отлично» выставляется, если на все вопросы даны отличные ответы или 2 вопроса оценены на «отлично», а 1 вопрос – на «хорошо»;
- оценка «хорошо» выставляется, если 2 вопроса оценены на «отлично» или «хорошо», а 1 вопрос – на «удовлетворительно»;
- оценка «удовлетворительно» выставляется, если 2 вопроса оценены на «удовлетворительно» или один из вопросов оценен на «неудовлетворительно» при любых оценках на оставшиеся вопросы;
- оценка «неудовлетворительно» выставляется, если более 1 вопроса оценены на «неудовлетворительно».

Оценка	Критерии оценок
Отлично	Корректное использование широкого спектра научных понятий. Рассуждения логически непротиворечивы, последовательны, выявлены причинно-следственные связи, осуществлен последовательный анализ проблемы, все выводы обоснованы достоверной фактологической базой. Продемонстрировано умение целостно видеть проблему, выделять ее ключевое звено.
Хорошо	Достаточный уровень знаний. Может быть продемонстрировано знание основных принципов и концепций при наличии некоторых несущественных пробелов. Целостное видение рассматриваемой проблемы присутствует, но не до конца выражено в авторском анализе.
Удовлетворительно	Удовлетворительный уровень знаний. Налицо ряд пробелов в знании основных принципов и концепций. Анализ проблемы проведен фрагментарно. Выводы в основном верные, но в рассуждении допущены логические пробелы, мешающие целостному видению рассматриваемой проблемы.
Неудовлетворительно	Низкий уровень знаний. Допущены существенные ошибки. Отсутствие логических рассуждений, понимания проблемы, необоснованность выводов.

При получении оценок «отлично», «хорошо» и «удовлетворительно» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Основные понятия в теории качества и надежности. Часть 1	ПК-6, ПК-7	Тест, решение задач
2	Основные понятия в теории качества и надежности. Часть 2	ПК-6, ПК-7	Ответы на контрольные вопросы, решение задач.
3	Общие представления об отказах ИС. Часть 1	ПК-6, ПК-7	Тест, защита лабораторных работ.
4	Общие представления об отказах ИС. Часть 2	ПК-6, ПК-7	Ответы на контрольные вопросы, защита лабораторных работ.

5	Общие представления об отказах ИС. Часть 3	ПК-6, ПК-7	Выполнение практического задания, защита лабораторных работ.
6	Методы повышения надежности ИС в процессе серийного производства	ПК-6, ПК-7	Ответы на контрольные вопросы, защита лабораторных работ
7	Воздействие электростатических зарядов на полупроводниковые изделия (ППИ). Часть 1	ПК-6, ПК-7	Тест
8	Воздействие электростатических зарядов на полупроводниковые изделия (ППИ). Часть 2	ПК-6, ПК-7	Ответы на контрольные вопросы.
9	Влияние радиации на ИС. Часть 1	ПК-6, ПК-7	Тест
10	Влияние радиации на ИС. Часть 2	ПК-6, ПК-7	Ответы на контрольные вопросы.

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста преподавателем и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература

1. Физические основы надежности интегральных схем: учеб. пособие / М.И. Горлов, А.В. Строгонов, Т.Г. Меньшикова, О.Л. Бордюжа, Е.В. Аникеев. – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГЛУ», 2023. – 96 с. - ISBN 978-5-7994-1081-0.

2. Ануфриев Д.Л. Конструкционные методы повышения надежности интегральных схем: учеб. пособие / Д.Л. Ануфриев, М.И. Горлов, А.П. Достанко. – Мн.: Интегралполиграф, 2007. – 264 с. – ISBN 978-985-6845-01-0.

3. **Коледов Л.А.** Технологии и конструкции микросхем, микропроцессов и микросборок: учеб. пособие / Л.А. Коледов. - 3-е изд., стереотип. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2009. - 400 с. - ISBN 978-5-8114-0766-8

4. **Коледов Л.А.** Технология и конструкция микросхем, микропроцессоров и микросборок [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Л.А. Коледов. - 3-е изд., стер. - СПб.: Лань, 2021. - 400 с. - ISBN 978-5-8114-0766-8. URL: <https://e.lanbook.com/book/167750>

5. **Горлов М.И.** Обеспечение и повышение надежности полупроводниковых изделий в процессе серийного производства: монография / М.И. Горлов, Л.П. Ануфриев. – Мн.: Беспринт, 2003. – 202с. – ISBN 985-6633-92-3.

6. **Расчет надежности интегральных схем по конструктивно-технологическим данным** / М.И. Горлов, С.Ю. Королев, А.В. Кулаков, А.В. Строгонов. - Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1996. - 80 с. - ISBN 5-7455-0865-5

7. **Горлов М.И.** Физические основы надежности интегральных схем: учеб. пособие / М.И. Горлов, Н.С. Данилин. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 404 с. – Дар Горлова М.И. – ISBN 978-5-317-02303-4.

Дополнительная литература

8. **Горлов М.И.** Физические основы надежности интегральных схем [Электронный ресурс]: учеб. пособие / М.И. Горлов, Е.П. Николаева. – Электрон. текстовые дан. (4,56 Мб). – Воронеж: ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2006.

9. **Горлов М.И.** Современные диагностические методы контроля качества и надежности полупроводниковых изделий: монография / М.И. Горлов, В.А. Сергеев. - Ульяновск: УлГТУ, 2014. - 406 с. - ISBN 978-5-9795-1332-4

10. **Горлов М.И.** Конструкционные методы повышения надежности интегральных схем [Электронный ресурс]: учеб. пособие / М.И. Горлов, Е.П. Николаева. – Электрон. текстовые, граф. дан. (4,63 Мб). – Воронеж: ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2005.

11. **Горлов М.И.** Технологические отбраковочные и диагностические испытания полупроводниковых изделий: монография / М.И. Горлов, В.А. Емельянов, Д.Л. Ануфриев. – Мн.: Белорусская наука, 2006. – 367 с. – ISBN 985-08-0695-8.

12. **Горлов М.И.** Диагностика в современной микроэлектронике: монография / М.И. Горлов, В.А. Емельянов, Д.Ю. Смирнов. Мн., Интегралполиграф, 2011. – 375 с. ISBN 978-985-684-534-8.

13. **Диагностика твердотельных полупроводниковых структур по параметрам низкочастотного шума** / М.И. Горлов [и др.]. – Мн.: Интегралполиграф, 2006. - 112 с. - ISBN 985-90127-3-3

14. **Горлов М.И.** Электростатические заряды в электронике / М.И. Горлов, А.В. Емельянов, В.И. Плебанович. – Мн.: Белорусская наука, 2006. - 295 с. - ISBN 985-08-0705-9

15. **Акулинин С.А.** Основы теории надежности [Электронный ресурс]: лабораторный практикум: учеб. пособие / С.А. Акулинин. – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017. – 78 с.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:

- Операционные системы семейства MSWindows;
- Пакет офисных программ LibreOffice;
- Программа просмотра файлов WinDjview;
- Программа просмотра файлов формата pdf Adobe Acrobat Reader;

- Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome;
- Математический пакет MathCad Express, Smath Studio;
- Среда разработки Python;
- Система управления курсами Moodle;

Используемые электронные библиотечные системы:

- Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL»: <http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;
- ЭБС Издательства «ЛАНЬ», в том числе к коллекциям «Инженерно-технические науки», «Физика»: <http://e.lanbook.com/>;
- ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>.

Информационные справочные системы:

- портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования: <http://fgosvo.ru/>;
- единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/>;
- открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ: <http://online.mephi.ru/>;
- открытое образование: <https://openedu.ru/>;
- физический информационный портал: <http://phys-portal.ru/index.html>
- Профессиональные справочные системы «Техэксперт»: <https://cntd.ru>
- Электронная информационная образовательная среда ВГТУ: <https://old.education.cchgeu.ru>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Лекционная аудитория 311/4, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций: мультимедиа-проектором, стационарным экраном, наборами демонстрационного оборудования (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
 рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 22 человека.
 проектор BenQ MP515 DLP;
 экран ScreenMedia настенный.
 огнетушитель.

2. Лаборатория физики конденсированного состояния ауд. 213/4, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для проведения лабораторных занятий (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
 рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 16 человек;
 микроскоп МССО-1V42;
 металлографический микроскоп BS-6010BTR
 микроскоп МССО;
 микроскоп МИС;
 микротвердомер ПМТ-3;
 микроскоп МИМ-7;
 микроскоп МИК-4;
 микроскоп МИ-1;
 микроскоп МИИ-4;
 огнетушитель;

3. Дисплейный класс для самостоятельной работы студентов, укомплектованный специализированной мебелью и оснащенный персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, ауд. 209/4 (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);

рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 20 человек.

компьютер-сборка каф.9;

компьютер в составе: (H61/IntelCorei3/Кв/М/20" LCD);

компьютер-сборка каф.7;

компьютер-сборка каф.3;

компьютер в составе: (H61/IntelCorei3/Кв/М/23" LCD);

компьютер-сборка каф.5;

компьютер-сборка каф.4;

компьютер-сборка каф.8;

компьютер-сборка каф.2;

компьютер-сборка каф.6;

компьютер-сборка каф.10;

комп. в сост: Сист.блок RAMEC GALE,монитор 17" LCD;

компьютер-сборка каф.1;

экран Projecta ProScreen настенный рулонный;

проектор BenQ MP515 DLP;

огнетушитель.

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Физические основы надежности интегральных микросхем» читаются лекции, проводятся лабораторные и практические занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков освоения студентами последовательности и методов анализа отказавших изделий. Занятия проводятся путем решения стандартных и прикладных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию обо всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины осуществляется путем тестирования и устного опроса. Освоение дисциплины оценивается на экзамене.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобще-

	ния; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практические занятия	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции, при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных, для подготовки к ним необходимо: разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1	Актуализирован раздел 8.1 в части состава учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.	04.02.2025	
2			
3			
4			