

**Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

Направление подготовки/специальность: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Твердотельная микро- и нанoeлектроника

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Моделирование полупроводниковых приборов**

**Москва
2024**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Баринов А.Д.
	Идентификатор	Ra98e1318-BarinovAD-f138ec4f

А.Д. Баринов

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Баринов А.Д.
	Идентификатор	Ra98e1318-BarinovAD-f138ec4f

А.Д. Баринов

Заведующий
выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мирошникова И.Н.
	Идентификатор	Rd1db27a5-MiroshnikovaIN-70caf8

И.Н.
Мирошникова

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-1 Способен участвовать в проектировании полупроводниковых приборов и / или интегральных схем

ИД-1 Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов в соответствующих областях электроники

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Контрольная работа № 1 (Контрольная работа)
2. Контрольная работа № 2 (Контрольная работа)
3. Контрольная работа № 3 (Контрольная работа)
4. Контрольная работа № 4 (Контрольная работа)

Форма реализации: Выполнение задания

1. Расчетно-графическая работа (Расчетно-графическая работа)

БРС дисциплины

3 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ- 1	КМ- 2	КМ- 3	КМ- 4	КМ- 5
	Срок КМ:	4	8	10	12	14
Введение						
Введение в дисциплину. Основные задачи полупроводниковой электроники	+					
Характеристики силовых полупроводниковых приборов						
Общая схема исследования характеристик силовых полупроводниковых приборов	+					
Мощные полупроводниковые приборы						
Физические эффекты, существенно влияющие на работу полупроводниковых приборов			+			
Силовые диоды и тиристоры						
Типы современных силовых диодов и их основные характеристики.					+	

Тиристоры			+	+	
Силовые полупроводниковые приборы с полевым управлением				+	+
Силовые приборы на основе новых материалов					
Силовые приборы на основе новых материалов				+	
Вес КМ:	15	15	15	15	40

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-1 _{ПК-1} Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов в соответствующих областях электроники	Знать: принцип работы силовых полупроводниковых приборов методы определения параметров, характеризующих физику работы силовых приборов физико-математические модели силовых приборов Уметь: моделировать работу силовых полупроводниковых приборов ставить задачу в соответствии со схемой исследования характеристик силовых полупроводниковых приборов	Контрольная работа № 1 (Контрольная работа) Контрольная работа № 2 (Контрольная работа) Контрольная работа № 3 (Контрольная работа) Контрольная работа № 4 (Контрольная работа) Расчетно-графическая работа (Расчетно-графическая работа)

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Контрольная работа № 1

Формы реализации: Билеты (письменный опрос)

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенту выдаётся билет с перечнем вопросов, ответы на которые он пишет на бумажном листе. Время проведения контрольной работы - 2 ак. часа.

Краткое содержание задания:

Дать развернутый ответ на поставленные вопросы

Контрольные вопросы/задания:

Знать: методы определения параметров, характеризующих физику работы силовых приборов	1. Вывод уравнений переноса носителей заряда с учетом электронно-дырочного рассеяния и эффектов сильного легирования. 2. Методы определения параметров, характеризующих электронно-дырочное рассеяние 3. Фундаментальная система уравнений полупроводникового прибора
--	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: оценки «отлично» (5) заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: оценки «хорошо» (4) заслуживает студент, обнаруживший полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: оценки «удовлетворительно» (3) заслуживает студент, обнаруживший знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: оценка «неудовлетворительно» (2) выставляется студенту, обнаружившему серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий

КМ-2. Контрольная работа № 2

Формы реализации: Билеты (письменный опрос)

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенту выдаётся билет с перечнем вопросов, ответы на которые он пишет на бумажном листе. Время проведения контрольной работы - 2 ак. часа.

Краткое содержание задания:

Дать развернутый ответ на поставленные вопросы

Контрольные вопросы/задания:

Знать: физико-математические модели силовых приборов	1. Влияние сужения ширины запрещенной зоны на характеристики силовых приборов 2. Оже-рекомбинация и ее влияние на работу полупроводниковых приборов. 3. Уравнение непрерывности носителей заряда при высоком и низком уровнях инжекции в слоях структуры
--	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: оценки «отлично» (5) заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: оценки «хорошо» (4) заслуживает студент, обнаруживший полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: оценки «удовлетворительно» (3) заслуживает студент, обнаруживший знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: оценка «неудовлетворительно» (2) выставляется студенту, обнаружившему серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий

КМ-3. Контрольная работа № 3

Формы реализации: Билеты (письменный опрос)

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенту выдаётся билет с перечнем вопросов, ответы на которые он пишет на бумажном листе. Время проведения контрольной работы - 2 ак. часа.

Краткое содержание задания:

Дать развернутый ответ на поставленные вопросы

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: моделировать работу силовых полупроводниковых приборов	1.Объяснить статические характеристики тиристора в выключенном и включенном состояниях. 2.Пояснить понятие: шунтировка катодного эмиттерного перехода. 3.Пояснить зависимость критического заряда включения от шунтировки эмиттерного перехода 4.Объяснить методы включения тиристора (управление по аноду, управление по управляющему электроду, реверсивный метод включения, метод dU/dt). Эффект dI/dt .
---	---

Описание шкалы оценивания:*Оценка: 5*

Описание характеристики выполнения знания: оценки «отлично» (5) заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: оценки «хорошо» (4) заслуживает студент, обнаруживший полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: оценки «удовлетворительно» (3) заслуживает студент, обнаруживший знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: оценка «неудовлетворительно» (2) выставляется студенту, обнаружившему серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий

КМ-4. Контрольная работа № 4**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенту выдаётся билет с перечнем вопросов, ответы на которые он пишет на бумажном листе. Время проведения контрольной работы - 2 ак. часа.

Краткое содержание задания:

Дать развернутый ответ на поставленные вопросы

Контрольные вопросы/задания:

Знать: принцип работы силовых полупроводниковых приборов	1.Стационарная ВАХ силового диода в области больших плотностей тока. 2.Лавинный пробой силового кремниевого диода. Фаска и методы ее расчета. Охранные кольца.
--	---

	3.Понятие о тепловом сопротивлении диодной структуры (контактное тепловое сопротивление, собственное тепловое сопротивление). 4.Ударный ток силового диода. Методы определения ударного тока.
--	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Описание характеристики выполнения знания: оценки «отлично» (5) заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины

Оценка: 4

Описание характеристики выполнения знания: оценки «хорошо» (4) заслуживает студент, обнаруживший полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе.

Оценка: 3

Описание характеристики выполнения знания: оценки «удовлетворительно» (3) заслуживает студент, обнаруживший знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой.

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: оценка «неудовлетворительно» (2) выставляется студенту, обнаружившему серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий

КМ-5. Расчетно-графическая работа

Формы реализации: Выполнение задания

Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 40

Процедура проведения контрольного мероприятия: Студенту дается индивидуальное задание

Краткое содержание задания:

Моделирование вольт-амперной характеристики (ВАХ) силового прибора с заданной структурой

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: ставить задачу в соответствии со схемой исследования характеристик силовых полупроводниковых приборов	1.Выбрать и обосновать конструкцию диода Шоттки 2.Провести эскизные расчеты степени легирования и толщины базы ряда силовых диодов Шоттки на напряжения до 500 В (20 значений с шагом 50 В). Положить площадь перехода 100 А/см² Рекомендуется расчеты проводить в пакете MathCad 3.Выбрать материал для контакта Шоттки из табл. 2.(работа выхода слабо зависит от удельного сопротивления полупроводника n-материала и зависит от массы моментов :состав, слой окисла и
---	---

	т.д.) 4.Выбрать структуру охранного р-п перехода и оценить его конструктивные параметры 5.Провести расчет статических – прямых и обратных ВАХ. Данные по прямым напряжениям привести в виде табл.3 и графическом виде 6.Провести расчет параметров PSpice модели диода Шоттки 7.Провести расчет температурных зависимостей характеристик диода Шоттки
--	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: зачтено

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: не зачтено

Описание характеристики выполнения знания:

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

3 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Пояснить суть полупроводниковой электроники – управление сопротивлением слоев полупроводниковых структур.
2. Понятие о тепловом сопротивлении диодной структуры (контактное тепловое сопротивление, собственное тепловое сопротивление).
Задача. Рассчитать удельную проводимость полупроводника и плотность дрейфового тока носителей при заданной напряженности электрического поля.

Процедура проведения

Студент получает билет для самостоятельной подготовки. Подготовка для устного экзамена - 60 минут. По окончании подготовки студент отвечает экзаменатору.

1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{ПК-1} Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов в соответствующих областях электроники

Вопросы, задания

- 1.Пояснить суть полупроводниковой электроники – управление сопротивлением слоев полупроводниковых структур.
- 2.Электронный ключ и его основные характеристики. Ключ на биполярном транзисторе. Ключ на тиристоре.
- 3.Электронно-дырочное рассеяние. Виды рекомбинации (ШРХ, бимолекулярная, Оже)
- 4.Закон действующих масс. Понятие высокого уровня инжекции (ВУИ)
- 5.Максвелловское время релаксации. Вывод уравнений переноса носителей заряда с учетом электронно-дырочного рассеяния и эффектов сильного легирования. Сила увлечения. Квазидинамическое приближение.
- 6.Фундаментальная система уравнений полупроводникового прибора.
- 7.Шунтировка катодного эмиттерного перехода. Зависимость критического заряда включения от шунтировки эмиттерного перехода.
- 8.Методы включения тиристора (управление по аноду, управление по управляющему электроду, реверсивный метод включения, метод dU/dt).
- 9.Типы силовых приборов с полевым управлением (IGBT, SIT, SITh, MCT). Основные характеристики приборов типа IGBT и SITh. Сравнение параметров этих приборов с параметрами обычных силовых приборов.
- 10.Эффект dI/dt . Полевой и диффузионный механизмы распространения включенного состояния. Разветвленный управляющий электрод тиристора.

Материалы для проверки остаточных знаний

- 1.Тиристором называется полупроводниковый прибор ...

Ответы:

- с одним pn-переходом
- с двумя pn-переходами

с тремя и более рп-переходами

Верный ответ: с тремя и более рп-переходами

2. Динистор отличается от обычного тиристора тем, что ...

Ответы:

Имеет третий контакт для подачи управляющего тока

Не имеет третьего контакта для подачи управляющего тока

Динистор ничем не отличается от тиристора

Верный ответ: Не имеет третьего контакта для подачи управляющего тока

3. После переключения во включённое состояние тиристор находится в этом состоянии до тех пор, пока ...

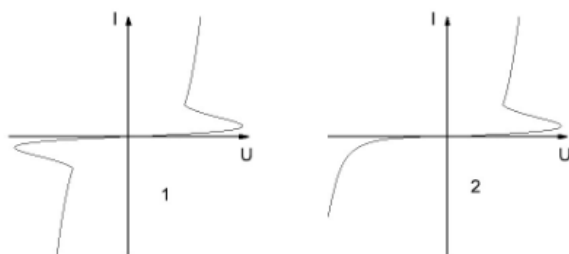
Ответы:

Не будет прекращено протекание тока между анодом и катодом тиристора

Не будет подан переключающий ток через управляющий контакт

Верный ответ: Не будет прекращено протекание тока между анодом и катодом тиристора

4. На каком рисунке представлена вольт-амперная характеристика обычного тиристора?



Ответы:

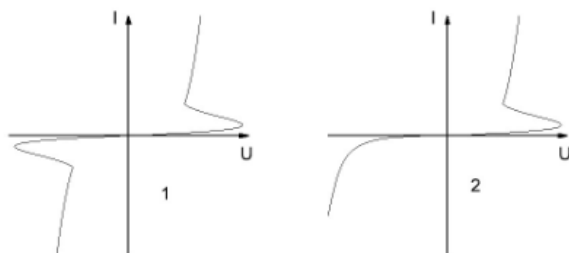
На рисунке 1

На рисунке 2

Среди представленных рисунков нет ВАХ тиристора

Верный ответ: На рисунке 2

5. На каком рисунке представлена вольт-амперная характеристика симистора?



Ответы:

На рисунке 1

На рисунке 2

Среди представленных рисунков нет ВАХ симистора

Верный ответ: На рисунке 1

6. При увеличении величины тока через управляющий электрод в тиристоре происходит ...

Ответы:

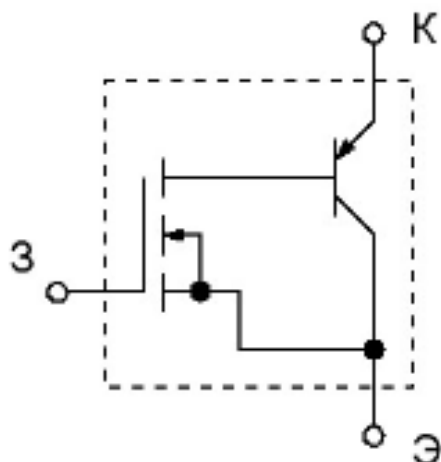
Уменьшение величины напряжения переключения

Увеличение величины напряжения переключения

Величина напряжения переключения не меняется

Верный ответ: Уменьшение величины напряжения переключения

7. Упрощённая эквивалентная схема какого полупроводникового прибора изображена на рисунке?



Ответы:

IGBT (БТИЗ)

Тиристора

МДП-транзистора

Верный ответ: IGBT (БТИЗ)

8. Частотные свойства лучше у ...

Ответы:

Диода на основе рп-перехода

Диода Шоттки

Нет никакой разницы

Верный ответ: Диода Шоттки

9. На основе кремния изготовили два диода с ассиметричным рп-переходом.

Концентрация примеси в слаболегированной области первого диода составляет $1 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$, а во втором диоде - $1 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$. У какого диода напряжение лавинного пробоя выше?

Ответы:

У первого

У второго

Напряжение одинаково у обоих диодов

Верный ответ: У первого

10. На основе кремния и германия изготовили два диода. У какого прибора выше вероятность наступления туннельного пробоя при увеличении величины обратного напряжения?

Ответы:

У диода на основе кремния

У диода на основе германия

Ни у кого не наступит туннельный пробой

Верный ответ: У диода на основе германия

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: оценки «отлично» (5) заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «отлично» выставляется студенту, проявившему творческие способности в понимании, изложении и использовании материалов изученной дисциплины, безупречно ответившему не только на вопросы билета, но и на дополнительные вопросы в рамках основной программы дисциплины экзамена, правильно выполнившему практическое задание;

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: оценки «хорошо» (4) заслуживает студент, обнаруживший полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Как правило, оценка «хорошо» выставляется студенту, показавшему систематический характер знаний по дисциплине, ответившему на все вопросы билета, правильно выполнившему практическое задание, но допустившему при этом принципиальные ошибки;

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: оценки «удовлетворительно» (3) заслуживает студент, обнаруживший знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «удовлетворительно» выставляется студентам, допустившим погрешность в ответе на теоретические вопросы и/или при выполнении практических заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя, либо неправильно выполнившему практическое задание, но по указанию экзаменатора выполнившим другие практические задания из того же раздела дисциплины;

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: оценка «неудовлетворительно» (2) выставляется студенту, обнаружившему серьезные пробелы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине, не ответившим на все вопросы билета и дополнительные вопросы, и неправильно выполнившему практическое задание. Неправильное выполнение только практического задания не является однозначной причиной для выставления оценки «неудовлетворительно». Оценка «неудовлетворительно» выставляется также, если студент: - после начала экзамена отказался его сдавать; - нарушил правила сдачи экзамена (списывал, подсказывал, обманом пытался получить более высокую оценку и т.д.).

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе (БАРС) для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.