

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

**Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**

**Наименование образовательной программы: Микроэлектроника и твердотельная электроника**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Физика МДП-структур**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Зезин Д.А.
	Идентификатор	Re7522a00-ZezinDA-ba8dbd73

(подпись)

Д.А. Зезин

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень,  
ученое звание)

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

(подпись)

А.Д. Баринов

(расшифровка подписи)

Заведующий  
выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень,  
ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мирошникова И.Н.
	Идентификатор	Rd1db27a5-MiroshnikovaIN-70cafb8

(подпись)

И.Н.

Мирошникова

(расшифровка подписи)

## 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:

- ПК-1 Способен участвовать в проектировании полупроводниковых приборов  
ИД-1 Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Выполнение задания

- КМ-2 (Контрольная работа)

Форма реализации: Защита задания

- КМ-4 (Расчетно-графическая работа)

Форма реализации: Проверка задания

- КМ-1 (Контрольная работа)
- КМ-3 (Контрольная работа)

### БРС дисциплины

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	12	16
Основные понятия.					
Основные понятия.	+				
Простейшие полевые приборы					
Простейшие полевые приборы		+			
Модели полевых ИС					
Модели полевых ИС			+		
ИС на основе полевых транзисторов					
ИС на основе полевых транзисторов				+	

Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности функционально ориентированных ИС				
Транзисторы на основе широкозонных полупроводников и гетеропереходов. Особенности функционально ориентированных ИС				+
Вес КМ:	10	20	20	50

\$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 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов	Знать: методы оптимизации параметров полупроводниковых полевых транзисторов основные физические процессы, определяющие параметры и математические модели полевых транзисторов Уметь: оценивать параметры моделей полупроводниковых приборов создавать модели полевых полупроводниковых приборов	КМ-1 (Контрольная работа) КМ-2 (Контрольная работа) КМ-3 (Контрольная работа) КМ-4 (Расчетно-графическая работа)

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. КМ-1

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент защищает результаты практического задания, отвечая устно на вопросы преподавателя

#### **Краткое содержание задания:**

Выполнить проверочную работу по заданию преподавателя

#### **Контрольные вопросы/задания:**

Знать: методы оптимизации параметров полупроводниковых полевых транзисторов	<ol style="list-style-type: none"><li>1.</li><li>1. 1. Какие разновидности полевых транзисторов существуют?</li><li>2. Как с помощью полевого транзистора происходит преобразование энергии относительно мощного источника питания выходной цепи в энергию электрических колебаний?</li><li>3. Почему свойства и характеристики полевых транзисторов следует описывать системой уравнений, в которых токи являются функциями напряжений, а не наоборот?</li><li>4. Какие физические факторы могут влиять на характер зависимости тока стока от напряжения на стоке полевого транзистора с управляющим переходом?</li></ol>
---	--

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент полностью верно ответил на поставленные вопросы.

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент ответил на поставленные вопросы с небольшими недочётами.

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент верно ответил на 50 % поставленных вопросов, а на остальные вопросы смог ответить, используя подсказки преподавателя.

### КМ-2. КМ-2

**Формы реализации:** Выполнение задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент защищает результаты практического задания, отвечая устно на вопросы преподавателя

**Краткое содержание задания:**

Выполнить проверочную работу по заданию преподавателя

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: основные физические процессы, определяющие параметры и математические модели полевых транзисторов</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Рабочая точка. Прохождение малого переменного сигнала через транзистор.</li> <li>2. Принцип работы транзистора.</li> <li>3. Режимы работы транзистора.</li> <li>4. Принцип усиления сигнала транзистором.</li> <li>5. Характеристики транзисторов в схеме с ОИ: передаточная, выходная характеристики.</li> <li>6. Температурные зависимости характеристик и параметров транзисторной структуры.</li> <li>7. Основные электрические параметры транзисторов.</li> <li>8. Отличие характеристик кремниевых и германиевых транзисторов.</li> <li>9. Основные операции технологического процесса изготовления транзисторных структур в интегральном исполнении.</li> <li>10. Отличие реальных полупроводниковых структур от идеальных.</li> </ol>
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент полностью верно ответил на поставленные вопросы

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент ответил на поставленные вопросы с небольшими недочётами

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент верно ответил на 50 % поставленных вопросов, а на остальные вопросы смог ответить, используя подсказки преподавателя

**КМ-3. КМ-3**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент защищает результаты практического задания, отвечая устно на вопросы преподавателя

**Краткое содержание задания:**

Выполнить проверочную работу по заданию преподавателя

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: оценивать параметры моделей полупроводниковых приборов</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. На построенных профилях легирования покажите области стока, истока, канала, подложки. Каким образом следует изменить параметры загонки (разгонки) примеси, чтобы уменьшить удельное сопротивление основных слоев транзистора? По полученным профилям сделайте вывод о модели</li> </ol>
--	---

	<p>p-n-переходов. По рассчитанным электрическим параметрам проведите экстракцию SPICE - параметров.</p>
--	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент полностью верно ответил на поставленные вопросы

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент ответил на поставленные вопросы с небольшими недочётами

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент верно ответил на 50 % поставленных вопросов, а на остальные вопросы смог ответить, используя подсказки преподавателя

**КМ-4. КМ-4**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 50

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Студент выполняет РГР

**Краткое содержание задания:**

Выполнить и защитить РГР

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Уметь: создавать модели полевых полупроводниковых приборов</p>	<p>1. 1. Провести расчет параметров транзистора в зарядовой модели. 2. Выполнить анализ водниающих погрешностей. 3. Выполнить расчет характеристик транзистора. 4. Сравнить результат со SPICE - моделей</p>
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент полностью верно ответил на поставленные вопросы

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент ответил на поставленные вопросы с небольшими недочётами

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* студент верно ответил на 50 % поставленных вопросов, а на остальные вопросы смог ответить, используя подсказки преподавателя

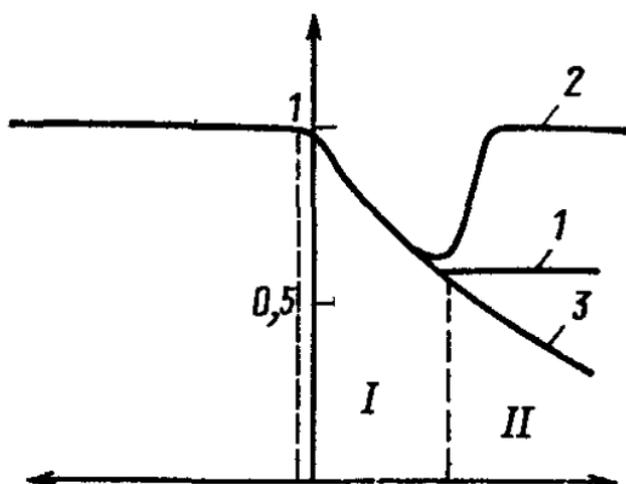
# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Биполярное уравнение непрерывности. Понятие о квазинейтральности. Статическая ВАХ диодной структуры при высоком и низком уровнях инжекции в базовом слое.
2. Понятие о критическом заряде включения  $Q_{crit}$ . Эффект  $dU/dt$ . Эффект  $dI/dt$ . Время выключения тиристора.
3. Практическое задание  
Обозначьте оси. Опишите физические процессы, приводящие к вариантам графика 1, 2, 3. Какому режиму работы прибора соответствуют области I и II на графике.



Процедура проведения

Студент получает билет для самостоятельной подготовки. Подготовка для устного экзамена - 1 час. По окончании подготовки студент отвечает экзаменатору.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов

**Вопросы, задания**

1.1. Характерные длины и времена в физике полупроводников и полупроводниковых приборов. Понятие о квазинейтральности.

Условие возникновения рп-перехода и его свойства (потенциальный барьер, электрическое поле рп-перехода, ёмкость рп-перехода, ВАХ рп-перехода).

Генерация и рекомбинация в области пространственного заряда рп-перехода.

Частотные свойства транзистора. Граничная частота транзистора в схеме с общей базой, предельная частота коэффициента усиления по току транзистора в схеме с общим эмиттером.

Двухтранзисторная модель работы тиристора.

ВАХ тиристора в выключенном состоянии.  
Параметры, характеризующие точку переключения тиристора.  
Шунтировка эмиттерного перехода тиристора.  
ВАХ тиристора при обратном смещении.  
Понятие о критическом заряде включения  $Q_{crit}$ . Эффект  $dU/dt$ . Эффект  $dI/dt$ . Время выключения тиристора.  
Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом (JFET).  
Полевые транзисторы с управляющей МОП структурой (MOSFET).

### Материалы для проверки остаточных знаний

1.1. По какой причине в полупроводниковом диоде при выключении импульса тока напряжение на диоде обновляется с задержкой?

Ответы:

- а) Избыточные инжектированные носители в базе создают достаточную разность потенциалов, чтобы р-п-переход оставался прямо смещённым.
- б) По окончании импульса тока некоторое время процессы генерации преобладают над процессами рекомбинации.
- в) По окончании импульса тока начинается инжекция из базы в эмиттер.
- г) Структура полупроводникового диода представляет собой индуктивность, перезарядка которой и определяет напряжение на переходе.

Верный ответ: а

2.2. Каким явлением определяется время рассасывания электронов в базе диода при переходном процессе?

Ответы:

- а) Процессом рекомбинации избыточных носителей в базе.
- б) Процессом рекомбинации избыточных носителей в эмиттере.
- в) Процессом генерации избыточных носителей в базе.
- г) Процессом генерации избыточных носителей в эмиттере.

Верный ответ: а

3. В чем отличие процесса выключения диода (ток через диод переходит из прямого направления в ток равный нулю) от процесса переключения диода (ток через диод переключается из прямого в обратное направление)?

Ответы:

- а) При выключении градиент концентрации неосновных носителей в базе на границе р-п-перехода равен нулю.
- б) При выключении градиент концентрации неосновных носителей в базе на границе р-п-перехода не равен нулю и пропорционален протекающему через переход току.
- в) При выключении градиент концентрации неосновных носителей в базе линейно зависит от расстояния до границы перехода.
- г) При выключении концентрация неосновных носителей в базе вблизи границы ОПЗ меньше, чем на некотором расстоянии от неё.

Верный ответ: а

4.4. По какой причине в биполярном транзисторе эмиттерная область намного меньше коллекторной?

Ответы:

- а) Задача эмиттера инжектировать, задача коллектора — собирать носители заряда.
- б) В коллекторе рассеивается основная часть мощности транзистора.
- в) Эмиттер делают маленьким с целью экономии места на кристалле.
- г) Маленький коллектор обеспечивает максимальное быстродействие.

Верный ответ: а

5. Что такое  $h_{21э}$ ?

Ответы:

- а) Коэффициент передачи по току в схеме общий эмиттер.
- б) Входное сопротивление в схеме общий эмиттер.
- в) Выходная проводимость в схеме общий эмиттер.
- г) Коэффициент обратной связи в схеме общий эмиттер.

Верный ответ: а

6.6. Чем отличается диодное включение биполярного транзистора с закороченным коллекторным р-п-переходом от диодного включения с разомкнутым коллекторным р-п-переходом?

Ответы:

- а) При разомкнутом включении будет снижен ток насыщения получившегося диода.
- б) При разомкнутом включении будет снижена контактная разность получившегося диода.
- в) При разомкнутом включении будет снижено сопротивление базы получившегося диода.
- г) При разомкнутом включении будет снижено напряжение пробоя получившегося диода.

Верный ответ: а

7. По какой причине на выходных характеристиках транзистора, включенного по схеме ОБ, ток коллектора в активном режиме почти не зависит от напряжения коллектор — база?

Ответы:

- а) Все носители, инжектированные эмиттером, захватываются коллекторным переходом.
- б) Наблюдается эффект насыщения дрейфовой скорости носителей.
- в) Наблюдается эффект Кирка.
- г) Наблюдается эффект Эрли.

Верный ответ: а

8. По какой причине ПТУП чувствителен к полярности напряжения на затворе?

Ответы:

- а) При неверной полярности управляющий р-п-переход смещается прямо, и ПТУП превращается в прямосмещенный диод.
- б) При неверной полярности возникает пробой изолирующего диэлектрика.
- в) При неверной полярности возникает эффект насыщения дрейфовой скорости.
- г) При неверной полярности выходное сопротивление транзистора уменьшается на два порядка.

Верный ответ: а

9. При каких условиях ширина канала ПТУП максимальна?

Ответы:

- а) Напряжение на затворе и стоке равны нулю.
- б) Напряжение на затворе равно нулю, напряжение на стоке не равно нулю.
- в) Напряжение на затворе не равно нулю, напряжение на стоке равно нулю.
- г) Напряжение на затворе не равно нулю, напряжение на стоке не равно нулю.

Верный ответ: а

10. По какой причине на выходных характеристиках МДП существует участок, на котором ток стока не зависит от напряжения на затворе?

Ответы:

- а) Наблюдается эффект насыщения дрейфовой скорости.
- б) Наблюдается эффект отеснения тока стока.
- в) Наблюдается эффект ударной ионизации и лавинного умножения носителей заряда.
- г) Наблюдается эффект отрицательного дифференциального сопротивления.

Верный ответ: а

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач

*Оценка: 4*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание и в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом принципиальные ошибки

*Оценка: 3*

*Описание характеристики выполнения знания:* выставляется студенту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, а также не выполнил практическое задание из экзаменационного билета, но либо наметил правильный путь его выполнения, либо по указанию экзаменатора решил другую задачу из того же раздела дисциплины.

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**

Оценка выставляется по результатам экзамена с учётом системы БАРС.