

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета РТЭ В.А. Небольсин
«30» августа 2017 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины

«Физические основы СВЧ-электроники»

Направление подготовки 16.03.01 ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Профиль Физическая электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2017

Автор программы

/ Бормонтов А.Е./

Заведующий кафедрой
Физики твердого тела

/ Калинин Ю.Е./

Руководитель ОПОП

/ Калинин Ю.Е. /

Воронеж 2017

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины: формирование представлений о принципах и основах работы приборов СВЧ диапазона, получение навыков практического применения приборов и устройств этого диапазона частот.

1.2. Задачи освоения дисциплины:

- получение представлений о физических идеях и принципах современной СВЧ электроники;
- формирование знаний по вопросам теории и практики использования приборов и устройств СВЧ диапазона;
- изучение физических процессов в приборах и устройствах СВЧ диапазона;
- приобретение навыков владения методами и средствами анализа процессов в приборах СВЧ электроники;
- изучение конструктивных особенностей, параметров, характеристик и режимов работы приборов и устройств СВЧ диапазона.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Физические основы СВЧ-электроники» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физические основы СВЧ-электроники» направлен на формирование следующих компетенций:

ДПК-5 - способностью строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок физической электроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования

ОПК-2 - способностью применять методы математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ДПК-5	знать основные технические параметры и характеристики микроволновых приборов; принципы работы устройств, использующих приборы микроволнового (СВЧ) диапазона
	уметь использовать методы и средства анализа процессов в микроволновых приборах, строить простейшие физические и математические модели этих приборов
	владеть стандартными программными средствами компьютерного моделирования приборов СВЧ

	электроники, навыками обработки и оценки результатов компьютерного моделирования и эксперимента
ОПК-2	знать методы моделирования приборов и устройств СВЧ электроники
	уметь применять методы математического анализа для расчета микроволновых приборов и устройств на их основе.
	владеть навыками расчета параметров и характеристик микроволновых приборов и устройств на их основе.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Физические основы СВЧ-электроники» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		8
Аудиторные занятия (всего)	54	54
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Самостоятельная работа	54	54
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	108	108
зач.ед.	3	3

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.	СРС	Всего, час
1	Основы физических процессов в СВЧ приборах	Особенности СВЧ диапазона и классификация СВЧ приборов. Параметры микроволновых приборов. Основные теоретические соотношения, определяющие физические процессы и характеристики этих приборов. Физические и математические модели.	4	2	8	14
2	Свойства р-п перехода и барьера Шоттки в СВЧ диапазоне	Диод на переменном токе. Барьерная и диффузионная емкости. Эффект накопления заряда. Диоды с накоплением заряда. Принцип действия, параметры и характеристики полупроводниковых диодов с р-п переходом и барьером Шоттки. Переходные процессы в диодах. Эквивалентные схемы. Технологические и конструктивные особенности диодов СВЧ диапазона.	6	4	8	18
3	Полупроводниковые СВЧ диоды	Детекторы. Смесители. Р-и-п диоды. Принцип действия, параметры и характеристики. Варакторные диоды. Основные параметры и характеристики. Применение диодов с нелинейной	12	6	14	32

		емкостью. Туннельные диоды. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) туннельного диода. Избыточный ток. Выбор материалов для туннельных диодов. Обращенные диоды. Диоды Ганна. Требования к зонной структуре полупроводников. Статическая ВАХ. Зарядовые неустойчивости в приборах с отрицательным дифференциальным сопротивлением (ОДС). Генерация СВЧ колебаний в диодах Ганна. Основные режимы работы. Лавинно-пролетные диоды (ЛПД). Лавинное умножение носителей. Устройство и зонная диаграмма ЛПД. Малосигнальные характеристики. Применение для генерации СВЧ колебаний. Инжекционно-пролетные диоды. Принцип действия, параметры и характеристики.				
4	Гетероструктурные СВЧ приборы	Эффект резонансного туннелирования в двухбарьерной гетероструктуре и в многобарьерных структурах. ВАХ двух-и многобарьерных структур. Приборы на основе резонансного туннелирования.	4	2	6	12
5	Биполярные и полевые СВЧ транзисторы	Биполярные транзисторы (БТ) СВЧ. Устройство и принцип действия. Параметры и характеристики. Гетероструктурный БТ. Полевые транзисторы (ПТ). ПТ с управляющим р-п переходом и барьером Шоттки. ПТ с изолированным затвором (МОП транзистор). Устройство, принцип действия, частотные и шумовые свойства. Гетероструктурный ПТ (HEMT). Мощные и высоковольтные МОП транзисторы.	8	4	14	26
6	СВЧ приборы при экстремальных температурах	Полупроводниковые материалы для высокотемпературной электроники. Твердотельные приборы на карбиде кремния и нитриде галлия.	2	0	4	6
Итого			36	18	54	108

5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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
ДПК-5	знать основные технические параметры и характеристики	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	микроволновых приборов; принципы работы устройств, использующих приборы микроволнового диапазона			
	уметь использовать методы и средства анализа процессов в микроволновых приборах, строить простейшие физические и математические модели этих приборов	Решение стандартных задач на практических занятиях Умение обрабатывать экспериментальные данные в рамках существующих моделей прибора	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть стандартными программными средствами компьютерного моделирования приборов СВЧ электроники, навыками обработки и оценки результатов компьютерного моделирования и эксперимента	Решение прикладных задач на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ОПК-2	знать методы моделирования приборов и устройств СВЧ электроники	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять методы математического анализа для расчета микроволновых приборов и устройств на их основе.	Решение стандартных задач на практических занятиях Умение обрабатывать экспериментальные данные в рамках существующих моделей прибора	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками расчета параметров и характеристик микроволновых приборов и устройств на их основе.	Решение прикладных задач на практических занятиях	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 8 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ДПК-5	знать основные технические параметры и характеристики микроволновых приборов; принципы работы устройств, использующих приборы микроволнового диапазона	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь использовать методы и средства анализа процессов в микроволновых приборах, строить простейшие физические и математические модели этих приборов	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть стандартными программными средствами компьютерного моделирования приборов СВЧ электроники, навыками обработки и оценки результатов компьютерного моделирования и эксперимента	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ОПК-2	знать методы моделирования приборов и устройств СВЧ электроники	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь применять методы математического анализа для расчета микроволновых приборов и устройств на их основе.	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками расчета параметров и характеристик микроволновых приборов и	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	устройств на их основе.			
--	-------------------------	--	--	--

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

1. Рабочие точки в лавинно-пролетном диоде определяются движением...

- а) основных носителей заряда;
- б) неосновных носителей заряда;
- в) основных и неосновных носителей заряда;
- г) ионами примесей.

2. Для изготовления структур лавинно-пролетных диодов используют, в основном, полупроводниковые материалы...

- а) GaAs;
- б) AlGaAs / GaAs;
- в) InGaAs / InP;
- г) Si.

3. Отрицательная динамическая проводимость лавинно-пролетного диода возникает (наблюдается) в ...

- а) статическом режиме;
- б) квазистатическом режиме;
- в) электростатическом режиме;
- г) динамическом режиме.

4. Эффект Ганна наблюдается в полупроводниках GaAs, InP с электропроводностью...

- а) собственной;
- б) донорной;
- в) акцепторной;
- г) компенсированной.

5. Возможность использования низкочастотных транзисторов в СВЧ диапазоне ограничена следующими физическими факторами...

- а) временем переноса носителей заряда;
- б) углом вылета носителей заряда из области базы;
- в) скоростью изменения накопленного заряда;
- г) схемой включения и соответствующих ей паразитных емкостей и индуктивностей.

индуктивностей.

6. Сверхтонкая база биполярного СВЧ транзистора обеспечивает...

- а) увеличение выходной мощности;
- б) уменьшение времени переноса носителей заряда;
- в) увеличение обратного напряжения коллекторного перехода;
- г) увеличение коэффициента усиления.

7. Эффект вытеснения тока эмиттера в биполярных СВЧ транзисторах вызван...

а) наличием сосредоточенного сопротивления в цепи эмиттера;
б) отсутствием нагрузочного сопротивления в цепи коллектора;
в) увеличением емкости эмиттерного перехода;
г) наличием распределенного поперечного сопротивления базовой области.

8. Для уменьшения времени пролета электронов под выводом затвора следует...

- а) увеличивать толщину подложки транзистора;
- б) уменьшать длину затвора;
- в) повышать подвижность электронов в активном слое;
- г) снижать концентрацию электронов под выводом затвора.

9. Особенностью гетероструктурного биполярного СВЧ транзистора является...

- а) использование полупроводника с узкой запрещенной зоной для области базы;
- б) использование широкозонного полупроводника для области эмиттера;
- в) использование узкозонных полупроводников для областей эмиттера и базы;
- г) использование широкозонных полупроводников для областей базы и коллектора.

10. Максимальная частота работы МОП-транзистора от длины канала L зависит...

- а) пропорционально L ;
- б) обратно пропорционально L ;
- в) обратно пропорционально L^2 ;
- г) не зависит от L .

11. Особенностью гетероструктурного полевого СВЧ транзистора (HEMT) является...

- а) использование полупроводника с высокой подвижностью электронов;
- б) использование модуляционного легирования;
- в) использование двумерного электронного газа в канале транзистора;
- г) использование двухбарьерной структуры с квантовой ямой.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. В слаболегированном образце кремния p -типа с удельным сопротивлением $4,5 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ делается p - n переход с примесной концентрацией N_a , в 1000 раз превышающей концентрацию примеси p -типа. Рассчитать встроенный потенциал и объемный потенциал n -области такого перехода.

Ответ: 0,75 В; 0,29 В.

2. Резкий симметричный кремниевый p - n переход имеет примесные концентрации $N_d = N_a = 4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и находится при комнатной температуре в равновесном состоянии. Рассчитать ширину обедненного слоя и максимальное электрическое поле.

Ответ: 0,66 мкм; $2 \cdot 10^4$ В/см.

3. Кремниевый диод формируется путем диффузии высокой концентрации бора в легированную фосфором пластину толщиной 350 мкм, имеющую удельное сопротивление 4,5 Ом·см. Глубина р-п перехода равна 0,5 мкм, а площадь поперечного сечения 10^{-4} см². Переход можно рассматривать как односторонний и резкий. Найти ток насыщения диода, если время жизни неосновных носителей в подложке равно 1 мкс.

Ответ: $1,2 \cdot 10^{-14}$ А.

4. Найти высоту потенциального барьера (падение напряжения на области объемного заряда) в диоде Шоттки, сформированном нанесением золота на германий n-типа с удельным сопротивлением 1 Ом·см.

Ответ: 0,78 В.

5. Рассчитать величину тока в кремниевом р-п переходе при внешних смещениях $V = +0,5$ В и $V = -0,5$ В. Площадь перехода $S = 1$ мм², уровни легирования $N_d = 10^{14}$ см⁻³, $N_a = 10^{16}$ см⁻³.

Ответ: $j_s = 5,3 \cdot 10^{-13}$ А·см⁻²; $I(V = +0,5 \text{ В}) = 0,13$ мА, $I(V = -0,5 \text{ В}) = 5,3 \cdot 10^{-13}$ А

6. Схематически изобразить и пояснить диаграмму энергетических зон $p^+ - i - p^+$ структуры в состоянии равновесия, при прямом и обратном смещениях. Чему равна контактная разность потенциалов такой структуры на кремнии? Где применяются р-і-п диоды?

Ответ: 1,1 В.

7. Для биполярного р-п-р транзистора задано: $I_{pэ} = 1$ мА; $I_{nэ} = 0,01$ мА; $I_{pк} = 0,98$ мА; $I_{nк} = 0,001$ мА. Вычислите: статический коэффициент передачи тока базы; эффективность эмиттера (коэффициент инжекции); ток базы и коэффициент передачи тока в схемах с ОБ и ОЭ.

Ответ: 0,98; 0,99; 30 мкА; 0,97; 33.

8. Кремниевый диффузионный п-р-п транзистор имеет ширину базы без ОПЗ 0,23 мкм. Вычислить время пролета базы и граничную частоту.

Ответ: $9,2 \cdot 10^{-12}$ с; 17,3 ГГц.

9. Найти величину напряжения плоских зон в идеальных МОП структурах с алюминиевым затвором, изготовленных на кремнии п- и р-типа с удельным сопротивлением 1 Ом·см. Дать схематическое изображение зонных диаграмм этих структур в состоянии теплового равновесия и в режиме плоских зон.

Ответ: $-0,17$ В; $-0,90$ В.

10. Рассчитать пороговое напряжение в МОП структурах с алюминиевым затвором, изготовленных на кремнии п- и р-типа с удельным сопротивлением 1 Ом·см. Толщина окисла 100 нм, плотность эффективного поверхностного заряда $8 \cdot 10^{-9}$ Кл/см².

Ответ: 1,18 В; $-2,02$ В.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Имеется резкий симметричный кремниевый р-п переход при температуре $T = 300$ К с площадью $S = 10^{-3}$ см² и концентрацией легирующих

примесей $N_d=N_a=10^{18} \text{ см}^{-3}$. Вычислить время за которое обратное смещение возрастет от 0 до -10 В , если ток через диод равен 1 мА .

Ответ: $3,26 \cdot 10^{-7} \text{ с}$.

2. Оценить положение уровней Ферми относительно краев разрешенных зон в туннельном диоде из Ge при $T=300 \text{ К}$ с типичными для туннельного перехода уровнями легирования $N_d = 2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $N_a = 4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Рассчитать величину контактной разности потенциалов и толщину обедненного слоя в этом диоде.

Ответ: $\Delta_n=34 \text{ мэВ}$; $\Delta_p=124 \text{ мэВ}$; $eU_k = 0,818 \text{ эВ}$; $W=10 \text{ нм}$.

3. Кремниевый лавинно-пролетный диод Рида со структурой $p^+-n-i-n^+$ работает в пролетном режиме. Оценить оптимальную длину области дрейфа этого диода для возбуждения колебаний с частотой 10 ГГц .

Ответ: 5 мкм .

4. Для выполнения условий, необходимых для работы диода Ганна в режиме пролета домена, оценить минимальную длину образца арсенида галлия с равновесной концентрацией электронов $n_0 = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и частоту осцилляций в таком образце. Для оценки воспользоваться критерием Кремера и считать, что скорость движения домена $v_d = 1,5 \cdot 10^7 \text{ см/с}$, дифференциальная подвижность $\mu_{\text{диф}} = -2200 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.

Ответ: 1 мкм ; 150 ГГц .

5. Показать, что при экспоненциальном распределении примеси в базе n-p-n биполярного транзистора напряженность электрического поля E постоянна. Найти в этом случае концентрацию неосновных носителей вблизи коллектора, если уровень легирования около эмиттера $N_a = 10^{17} \text{ см}^{-3}$, толщина базы транзистора $0,3 \text{ мкм}$, а $E = 4000 \text{ В/см}$.

Ответ: 10^{15} см^{-3} .

6. На подложке из кремния марки КДБ-12 сформирована МОП структура с алюминиевым затвором. Между металлом и кремнием действует разность потенциалов, обусловленная разностью их работ выхода, остальные требования идеальности МОП структуры выполняются. Нарисовать зонную диаграмму этой структуры в равновесных условиях, полагая, что падение потенциала на окисле V_i равно величине поверхностного электростатического потенциала ψ_s в полупроводнике. Пользуясь приближением обедненного слоя определить толщину слоя двуоксида кремния при которой $V_i = \psi_s$.

Ответ: 114 нм .

7. МОП структура находится в режиме глубокого неравновесного обеднения. Рассчитать плотность поверхностных состояний, при которой скорость поверхностной генерации вдвое превышает скорость генерации в обедненной области полупроводника. Считать, что сечения захвата носителей заряда равны $\sigma_t = 10^{-15} \text{ см}^2$, тепловая скорость $v_t = 10^7 \text{ см/с}$, постоянная времени $\tau = 1 \text{ мкс}$, ширина ОПЗ $W = 1 \cdot 10^{-6} \text{ см}$.

Ответ: $2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

8. МОП транзистор с отношением ширины к длине канала $W/L = 5$, толщиной затворного окисла 80 нм и подвижностью электронов в канале 600

$\text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ предполагается использовать как управляемый резистор. Рассчитать превышение затворного напряжения над пороговым напряжением, при котором сопротивление транзистора при малых напряжениях на стоке будет равно 2,5 кОм.

Ответ: 3,1 В.

9. Изготовителю нужно сделать n-канальный обедненный МОП транзистор без применения ионного легирования. Заранее отработанный технологический процесс обеспечивает получение плотности эффективного поверхностного заряда величиной 10^{11} см^{-2} . Толщина окисла равна 50 нм, затворы делаются из алюминия. Провести расчет и показать, пригоден ли указанный технологический процесс для изготовления обедненных МОП транзисторов на кремниевых пластинах марки КДБ-12.

Ответ: $V_T = -0,34 \text{ В}$; пригоден.

10. Построить зонную диаграмму гетероперехода n-Ge –p-GaAs с концентрациями легирующих примесей $N_d=N_a=10^{16} \text{ см}^{-3}$. Рассчитать величину контактной разности потенциалов, ширину областей обеднения и величины разрывов энергетических зон.

Ответ: $eU_k=1,15 \text{ эВ}$; $W_{\text{Ge}}=W_{\text{GaAs}}=0,28 \text{ мкм}$; $\Delta E_c = 0,07 \text{ эВ}$; $\Delta E_v = 0,84 \text{ эВ}$.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает проведения зачета.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Особенности СВЧ диапазона и классификация СВЧ приборов.
2. Свойства p-n перехода в СВЧ диапазоне.
3. Вольт-амперная характеристика p-n перехода.
4. Барьерная и диффузионная емкости p-n перехода. Эквивалентная схема p-n перехода.
5. Технологические особенности изготовления диодов СВЧ диапазона.
6. Полупроводниковые диоды в качестве детекторов слабых сигналов.
7. Детекторный СВЧ диод с переходом металл-полупроводник. Параметры и характеристики.
8. Детекторный СВЧ диод с p-n переходом. Параметры и характеристики.
9. Смесительный СВЧ диод. Параметры и характеристики.
10. Гетеродинный метод приема слабых сигналов. Чувствительность гетеродинной схемы.
11. Основные типы нелинейной полупроводниковой емкости. Вольт-фарадная характеристика.
12. Диоды с накоплением заряда. Параметры и характеристики.
13. Варакторный диод. Основные параметры и характеристики.
14. Применение диодов с нелинейной емкостью.
15. Туннельный диод. Вольт-амперная характеристика.
16. Туннельный диод. Параметры, применение.
17. Принцип действия, параметры и характеристики диода Шоттки.

18. Вольт-амперная характеристика диода Шоттки.
19. Принцип действия, параметры и характеристики р-і-п диода.
20. Лавинно-пролетный диод. Параметры и характеристики.
21. Инжекционно-пролетный диод. Параметры и характеристики.
22. Диод Ганна. Требования к зонной структуре полупроводника. ВАХ. Зарядовая неустойчивость в приборах с ОДС. Генерация СВЧ колебаний.
23. Диод Ганна. Режимы работы. Характеристики и параметры.
24. Резонансное туннелирование в двухбарьерной структуре и сверхрешетке. ВАХ.
25. Резонансно-туннельные диоды и транзисторы. Устройство и принцип действия.
26. Биполярный транзистор СВЧ. Устройство и принцип действия.
27. Биполярный транзистор СВЧ. Параметры и характеристики.
28. Гетероструктурный БТ. Устройство и принцип действия.
29. Полевой транзистор с барьером Шоттки. Устройство и принцип действия.
30. Полевой транзистор с барьером Шоттки. Частотные и шумовые свойства.
31. Гетероструктурный ПТ. Устройство и принцип действия.
32. Приборы высокотемпературной электроники на SiC и GaN. Применение биполярных и полевых СВЧ транзисторов.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация осуществляется по нескольким критериям:

1. Тестирование по темам курса с помощью тест-заданий.
 1. Оценка «неудовлетворительно» ставится в случае, если студент ответил правильно на 40% вопросов и меньше.
 2. Оценка «удовлетворительно» ставится в случае, если студент ответил правильно на 40-60% вопросов.
 3. Оценка «хорошо» ставится в случае, если студент ответил правильно на 60-80% вопросов.
 4. Оценка «отлично» ставится в случае, если студент ответил правильно на 80% вопросов и больше.
2. Ответы на практических (семинарских) занятиях по темам курса.
3. Экзамен.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Основы физических процессов в СВЧ приборах	ДПК-5, ОПК-2	Тест, контрольная работа, защита реферата, требования к курсовому проекту....

2	Свойства р-п перехода и барьера Шоттки в СВЧ диапазоне	ДПК-5, ОПК-2	Тест, контрольная работа, защита реферата, требования к курсовому проекту....
3	Полупроводниковые СВЧ диоды	ДПК-5, ОПК-2	Тест, контрольная работа, защита реферата, требования к курсовому проекту....
4	Гетероструктурные СВЧ приборы	ДПК-5, ОПК-2	Тест, контрольная работа, защита реферата, требования к курсовому проекту....
5	Биполярные и полевые СВЧ транзисторы	ДПК-5, ОПК-2	Тест, контрольная работа, защита реферата, требования к курсовому проекту....
6	СВЧ приборы при экстремальных температурах	ДПК-5, ОПК-2	Тест, контрольная работа, защита реферата, требования к курсовому проекту....

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 экзаменатором и выставляется оценка согласно методики 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 экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики 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 экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики 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. Лебедев А. И. Физика полупроводниковых приборов : учебное пособие / А.И. Лебедев. - Москва : Физматлит, 2008. - 488 с. - ISBN 978-5-9221-0995-6.

URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68403>.

2. Гуртов В. А. Твердотельная электроника : учеб. пособие. - 2-е изд., доп. - М. : Техносфера, 2005. - 408 с. - (Мир электроники). - ISBN 5-94836-060-1 : 300-00.

3. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. В 2-х книгах, Кн 1, Кн. 2. Пер с англ.-2-е перераб. и доп. изд.-М.: Мир, 1984.-Кн.1.-456 с., Кн.2.-456 с.

4. Пасынков В. В. Полупроводниковые приборы [Электронный ресурс] / Пасынков В. В., Чиркин Л. К., - 9-е изд. - : Лань, 2009. - 480 с. - ISBN 978-5-8114-0368-4.

URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=300

Дополнительная литература

1. Усанов Д.А., Скрипаль А.В. Физика работы полупроводниковых приборах в схемах СВЧ. Саратов: Изд-во Саратов. Ун-та, 1999. -376 с.

2. Маллер Р., Кейминс Т. Элементы интегральных схем: Пер. с англ.-М.: Мир, 1989.- 630с.

3. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов/Н.М. Тугов, Б.А. Глебов, Н.А. Чарыков; Под ред. В.А. Лобунцова.-М.:Энергоатомиздат, 1990.-576 с.

4. Березин В.М., Буряк В.С., Гутцайт Э.М., Марин В.П. Электронные приборы СВЧ: Учебное пособие для вузов по спец. «Электронные приборы» – М.: Высш. шк., 1985. – 296 с.

5. Нойкин Ю.М. Полупроводниковые приборы СВЧ: учебное пособие / Нойкин Ю.М., Нойкина Т.К., Усаев А.А. – Ростов-на-Дону, 2014 – 117 с.

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

Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer, Origin

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Научно-учебная лаборатория кафедры ФТТ, компьютерный класс(аудитории 221, 226а первого корпуса ВГТУ).

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Физические основы СВЧ-электроники» читаются лекции, проводятся 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 расчета параметров, процессов и характеристик твердотельных

приборов СВЧ диапазона. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; 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.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
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; - выполнение домашних заданий и расчетов; - 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 начинаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.