

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»  
Институт электронных и информационных систем  
Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
учебной дисциплины

**ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНЫХ  
МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ**

по направлению подготовки  
11.04.04 Электроника и нанoeлектроника  
Направленность (профиль) Микро- и нанoeлектронные устройства

**СОГЛАСОВАНО**

Начальник отдела обеспечения  
деятельности ИЭИС

П.В. Лысухо  
« 01 » апреля 2019 г.

Разработал

доцент КФТМ

И.С. Телина  
« 30 » 01 2019 г.

Принято на заседании кафедры ФТТМ

Протокол № 5 от 01.02 2019 г.

Заведующий кафедрой

Б.И. Селезнев  
« 01 » 02 2019 г.

## 1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Цель освоения учебной дисциплины: формирование компетентности студентов в области физики и технологии СВЧ микроэлектронных приборов, способствующей становлению их готовности к решению задач профессиональной деятельности.

Задачи:

- формирование понимания студентами физических и технологических основ арсенида галлия, а также эпитаксиальных структур на основе этого материала;
- формирование системы знаний, касающихся принципа действия, конструкций и технологии GaAs ПТШ;
- выработка умения оценивать важнейшие электрические характеристики GaAs ПТШ по их физико-топологическим параметрам;
- выработка умения применять средства автоматизированного проектирования для разработки GaAs ПТШ и СВЧ приборов на основе этих элементов.

## 2 Место учебной дисциплины в структуре ОПОП

Учебная дисциплина относится к элективным дисциплинам учебного плана основной профессиональной образовательной программы направления подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника и направленности (профилю) Микро- и наноэлектронные устройства (далее – ОПОП). В качестве входных требований выступают сформированные ранее компетенции обучающихся, приобретенные ими в рамках следующих дисциплин, изученных студентами при подготовке по направлению 11.03.04 Электроника и наноэлектроника: «Основы проектирования и технологии электронной компонентной базы», «Процессы микро- и нанотехнологии», «Элементная база СБИС» и др. Освоение учебной дисциплины является компетентностным ресурсом и используются при подготовке выпускной квалификационной работы.

## 3 Требования к результатам освоения учебной дисциплины (модуля)

Перечень компетенций, которые формируются в процессе освоения учебной дисциплины:

*Профессиональные компетенции:*

- ПК-2 способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов.

Результаты освоения учебной дисциплины представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты освоения учебной дисциплины

| Код и наименование компетенции                                                                                      | Результаты освоения учебной дисциплины<br>(индикаторы достижения компетенций) |                                                               |                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                     | Знать способы организации и проведения экспериментальных исследований         | Уметь самостоятельно проводить экспериментальные исследования | Владеть навыками проведения исследований с применением современных средств и методов |
| ПК-2 Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов |                                                                               |                                                               |                                                                                      |

## 4 Структура и содержание учебной дисциплины

### 4.1 Трудоемкость учебной дисциплины

Таблица 2 – Трудоемкость учебной дисциплины для очной формы обучения

| Части учебной дисциплины (модуля)                                           | Всего         | Распределение по семестрам |
|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|----------------------------|
|                                                                             |               | 2 семестр                  |
| 1. Трудоемкость учебной дисциплины (модуля) в зачетных единицах (ЗЕТ)       | 6             | 6                          |
| 2. Контактная аудиторная работа в академических часах (АЧ)                  | 45            | 45                         |
| 3. Курсовая работа/курсовой проект (АЧ) (при наличии)                       | -             | -                          |
| 4. Внеаудиторная СРС в академических часах (АЧ)                             | 135           | 135                        |
| 5. Промежуточная аттестация (зачет; дифференцированный зачет; экзамен) (АЧ) | экзамен<br>36 | экзамен<br>36              |

### 4.2 Содержание учебной дисциплины

#### Раздел 1. Физические основы СВЧ транзисторов

- 1.1 Цель и задачи изучения физики и технологии СВЧ микроэлектронных приборов
- 1.2 Структура, принцип действия и основные характеристики ПТШ
- 1.3 Основные характеристики и параметры ПТШ
- 1.4 Элементы теории и расчёта ПТШ

#### Раздел 2. Технология изготовления СВЧ транзисторов

- 2.1 Элементы структуры реальных ПТШ и их влияние на электрические характеристики транзистора
- 2.2 Схемотехника и конструкции GaAs интегральных схем
- 2.3 Технология изготовления GaAs-ПТШ и интегральных схем на их основе
- 2.4 Проектирование ПТШ и интегральных схем на их основе
- 2.5 рНЕМТ транзисторы на арсениде галлия

### 4.3 Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

Таблица 3 – Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

| №  | Наименование разделов (тем) учебной дисциплины (модуля), УЭМ, наличие КП/КР | Контактная работа (в АЧ) |           |    |            | Внеауд. СРС (в АЧ) | Формы текущего контроля |
|----|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------|----|------------|--------------------|-------------------------|
|    |                                                                             | Аудиторная               |           |    | В т.ч. СРС |                    |                         |
|    |                                                                             | ЛЕК                      | ПЗ        | ЛР |            |                    |                         |
| 1. | Раздел 1. Физические основы СВЧ транзисторов                                | 4                        | 18        |    | 4          | 67                 | доклад                  |
| 2. | Раздел 2. Технология изготовления СВЧ транзисторов                          | 5                        | 18        |    | 5          | 68                 | расчетная работа        |
|    | Промежуточная аттестация                                                    |                          |           |    |            |                    | экзамен                 |
|    | <b>ИТОГО</b>                                                                | <b>9</b>                 | <b>36</b> |    | <b>9</b>   | <b>135</b>         |                         |

#### 4.4 Лабораторные работы и курсовые работы/курсовые проекты

##### 4.4.1 Перечень тем лабораторных работ:

Лабораторные работы не предусмотрены учебным планом.

##### 4.4.2 Примерные темы курсовых работ/курсовых проектов:

Курсовые работы/курсовые проекты не предусмотрены учебным планом.

#### 5 Методические рекомендации по организации освоения учебной дисциплины

Таблица 4 – Темы лекционных занятий

| №                                                   | Темы лекционных занятий (форма проведения)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Трудоемкость в АЧ |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <b>Раздел 1. Физические основы СВЧ транзисторов</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                   |
| 1.                                                  | Цель и задачи изучения физики и технологии СВЧ микроэлектронных приборов. Определение и содержание основных терминов. История и проблемы освоения СВЧ диапазона с помощью микроэлектронных элементов, схем, приборов. Биполярные и полевые транзисторы, варакторные диоды, диоды Ганна. Принципиальные преимущества полевых транзисторов. Полевые транзисторы с управляющим барьером Шоттки (ПТШ). Арсенид галлия и другие материалы и структуры с высокой подвижностью электронов. Современные достижения СВЧ микроэлектроники. Различные аспекты СВЧ микроэлектроники: физический, схемотехнический, технологический. Основные тематические разделы курса. Виды учебных занятий. Рекомендуемая литература. Краткая аннотация основных учебных пособий (информационная лекция)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 1                 |
| 2.                                                  | Структура, принцип действия и основные характеристики ПТШ. Типовая конструкция ПТШ и важнейшие параметры его структуры, определяющие его частотные свойства. Преимущества арсенида галлия. Эффект компенсации и его использование в производстве GaAs-ПТШ. Основные требования к материалу подложки и активного слоя ПТШ. Сравнительные характеристики различных материалов, используемых для серийных и опытных ПТШ. Гетероструктуры с модулированным легированием как средство разрешения противоречивых требований к материалам для ПТШ (информационная лекция)<br>Конструкции GaAs-ПТШ. Конструктивно-технологические типы ПТШ. Важнейшие параметры структуры. Толщина и свойства слоев, способы их формирования. Длина затвора. Ширина и единичная ширина затвора. Топология ПТШ малой мощности. Разновидности и модификация в зависимости от частотного диапазона. Двухзатворные ПТШ. Топология ПТШ в аналоговых и цифровых интегральных схемах. Особенности структуры, топологии и конструкции ПТШ средней и большой мощности. Мощные ПТШ с цепями внутреннего согласования. Полевые транзисторы с модулированным легированием (транзисторы с высокой подвижностью электронов). Структура и принцип действия. Свойства двумерного электронного газа (информационная лекция) | 1                 |
| 3.                                                  | Основные характеристики и параметры ПТШ. Статические характеристики. Напряжение отсечки и начальный ток стока ПТШ. Усилительные и шумовые параметры. Параметры режима малого сигнала в СВЧ диапазоне. Параметры рассеивания. Минимальный коэффициент шума и оптимальный коэффициент усиления по мощности. Оптимальный источник сигнала. Эквивалентное шумовое сопротивление. Параметры режима большого сигнала. Порог перегрузки, максимальная выходная мощность. Характеристики линейности. Измерение электрических параметров и характеристик ПТШ. Измерения на пластине. Проблемы, методы и аппаратура для измерения параметров ПТШ в диапазоне СВЧ (информационная лекция)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 1                 |
| 4.                                                  | Элементы теории и расчёта ПТШ. Расчёт статических характеристик ПТШ. Омическая область канала и участок насыщенного дрейфа. Насыщение тока стока. Вычисление напряжения отсечки и начального тока стока ПТШ. Баллистический эффект "всплеска" дрейфовой скорости электронов в ПТШ с затворами субмикронной длины. Расширение области пространственного заряда под затвором в сторону стока. Особенности расчёта ПТШ с неоднородно легированным каналом.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1                 |

| №                                                         | Темы лекционных занятий (форма проведения)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Трудоемкость в АЧ |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|                                                           | Физические эквивалентные схемы ПТШ для режима малого сигнала в СВЧ диапазоне. Расчёт параметров элементов эквивалентной схемы. Расчёт эквивалентных шумовых токов активной структуры. Анализ эквивалентной схемы ПТШ и расчёт передаточных и шумовых характеристик. Моделирование и анализ ПТШ (информационная лекция)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                   |
| <b>Раздел 2. Технология изготовления СВЧ транзисторов</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                   |
| 1.                                                        | Элементы структуры реальных ПТШ и их влияние на электрические характеристики транзистора. Арсенид галлия и эпитаксиальные структуры для изготовления ПТШ. Получение и основные свойства. Глубокие уровни в арсениде галлия. Эффект компенсации. Четырехуровневая модель электропроводности полуизолирующего арсенида галлия. Методы измерения параметров полуизолирующего арсенида галлия. Интегральная оценка качества полуизолирующего арсенида галлия. Контакты и границы раздела в структурах ПТШ и их влияние на электрические параметры приборов. Высота барьера на границе раздела. Энергетические уровни на границах раздела. Структура границ раздела. Контакты металл-полупроводник. Химические реакции между металлами и полупроводниками $A^{III}B^V$ . Барьеры Шотки к GaAs. Материал контакта Шотки и проблема самосовмещения при формировании затворов ПТШ. Омические контакты к GaAs. Граница раздела канал-подложка. Влияние поверхности и границ раздела на стабильность эксплуатационных характеристик ПТШ. Граница раздела между диэлектриками и полупроводниковыми соединениями $A^{III}B^V$ . Граница раздела GaAs-диэлектрик и методы управления ее характеристиками. Гетеропереходы. Структуры с модулированным легированием. Структура GaAs-Ga <sub>x</sub> Al <sub>1-x</sub> As (информационная лекция)                                                                                                                                     | 1                 |
| 2.                                                        | Схемотехника и конструкции GaAs интегральных схем. Номенклатура аналоговых GaAs схем СВЧ. Элементы схемотехники GaAs усилителей. Проблема широкополосного согласования по передаче и шуму. Элементы конструкции GaAs усилителей. Линии передачи высокочастотного сигнала, их основные типы и характеристики. Резисторы, конденсаторы и катушки индуктивности СВЧ ИС. Схемы включения полевых транзисторов. Цепи смещения и согласования. Усилители с непосредственными связями. Широкополосные усилители с распределенным усилением (усилители бегущей волны). Анализ и расчёт характеристик усилителей. Влияние технологического разброса на основные параметры схемы. Статистическое моделирование СВЧ устройств в системе "FETCAD". Автогенераторы и смесители на ПТШ. Смесители на двухзатворных полевых транзисторах. Структура и схема антенного усилителя-преобразователя приемников спутникового телевидения. Элементы схемотехники цифровых GaAs ИС. Характеристики цифровых GaAs ИС. Применение цифровых GaAs ИС (информационная лекция)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 1                 |
| 3.                                                        | Технология изготовления GaAs-ПТШ и интегральных схем на их основе. Ключевые проблемы технологии GaAs-ПТШ: формирование затворов субмикронной длины, получение совершенных омических контактов, изоляция периферии, и пути их решения. Технологические процессы изготовления GaAs-ПТШ. Изготовление GaAs-ПТШ на структурах арсенида галлия с контактным слоем (САГ-2К). Изготовление GaAs-ПТШ с ионно-легированным каналом на основе полуизолирующего арсенида галлия. Проблемы получения ионно-легированных слоев. Повреждения структуры при ионной имплантации. Отжиг имплантированного GaAs. Защитные покрытия для отжига GaAs после ионного внедрения. Импульсный отжиг имплантированного GaAs. Применение собственных оксидов для формирования ионно-легированных слоев. Технологические маршруты изготовления ПТШ. Подготовка поверхности пластин. Удаление контактного слоя. Химическое и ионно-химическое травление. Формирование системы контактной металлизации. Формование затвора и контактных площадок. Достоинства и недостатки рассмотренных технологических процессов. Технологические процессы с самосовмещением затвора. Общая идея "самоформирования" полупроводниковой структуры и конкретные варианты процессов с самосовмещением. Технология изготовления монолитных GaAs СВЧ ИС. Процессы изготовления интегральных усилителей СВЧ и других аналоговых схем. Технология SAINT сверхскоростных цифровых схем на GaAs ПТШ (информационная лекция) | 1                 |
| 4.                                                        | Проектирование ПТШ и интегральных схем на их основе. Общие требования к средствам и системам проектирования GaAs ПТШ и ИС на их основе. Проблемы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 1                 |

| №  | Темы лекционных занятий (форма проведения)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Трудоемкость в АЧ |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|    | моделирования СВЧ элементов и устройств. Системы автоматизированного проектирования полупроводниковых СВЧ устройств. Связь основных электрических характеристик ПТШ с параметрами его структуры. Длина затвора как определяющий фактор. Влияние подвижности носителей в канале и пассивных сопротивлений в структуре ПТШ. Оптимизация параметров структуры ПТШ. Формулировка задачи оптимизации в терминах теории математического программирования. Формулировка критерия оптимизации. Основные алгоритмы оптимизации (информационная лекция)                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                   |
| 5. | pHEMT транзисторы на арсениде галлия. Инженерная методика по диагностике гетероструктур GaAs/AlGaAs/GaAs с использованием методов травления, холловских и эллипсометрических измерений. Требования к профилю травления гетероструктуры, обеспечивающие достижение наилучших статических и СВЧ характеристик готового прибора. Связь между величиной углубления затвора на этапе корректировки тока (участок профиля травления) и величиной крутизны, напряжения отсечки и начального тока стока транзистора. Технология pHEMT, позволяющая изготавливать сверхмалошумящие полевые транзисторы, отвечающие всем требованиям надежности. Линейные и нелинейные модели pHEMT транзисторов. Оптимизация параметров моделей на получение максимального соответствия результатов моделирования с экспериментальными данными (информационная лекция) | 1                 |
|    | <b>ИТОГО</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>9</b>          |

Таблица 5 – Темы практических занятий

| №  | Темы практических занятий (форма проведения)                   | Трудоемкость в АЧ |
|----|----------------------------------------------------------------|-------------------|
| 1. | СВЧ микроэлектроника (доклад)                                  | 18                |
| 2. | Проектирование микроэлектронного устройства (расчетная работа) | 18                |
|    | <b>ИТОГО</b>                                                   | <b>36</b>         |

#### *Рекомендации к проведению практических занятий.*

##### 1. Доклад.

Тему доклада студенты выбирают в начале первого раздела модуля. Не позднее, чем за две недели до окончания раздела назначается день, когда заслушиваются и обсуждаются все доклады по разделу.

##### 2. Расчетная работа.

Задание на расчетную работу студенты получают в начале второго раздела. В ходе выполнения задания студенты получают консультации преподавателя. Не позднее, чем за две недели до окончания раздела, расчетные работы сдаются на проверку преподавателю. Обсуждение результатов выполнения заданий проходит на последней неделе семестра.

Общее задание на расчетную работу – спроектировать микроэлектронное устройство для решения конкретной технической задачи с использованием системы моделирования AIM-Spice.

## **6 Фонд оценочных средств учебной дисциплины**

Фонд оценочных средств представлен в Приложении А.

## **7 Условия освоения учебной дисциплины**

### **7.1 Учебно-методическое обеспечение**

Учебно-методического обеспечение учебной дисциплины представлено в Приложении Б.

## 7.2 Материально-техническое обеспечение

Таблица 7 - Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

| №  | Требование к материально-техническому обеспечению | Наличие материально-технического оборудования и программного обеспечения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Наличие учебной аудитории                         | Учебная мебель, доска                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 2. | Мультимедийное оборудование                       | ПК IBM ATX Inwia S500 с подключением к сети «Интернет», монитор 17/КК/м, проектор Epson EMP-X5, экран подвесной (800х600)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|    | Программное обеспечение                           | Microsoft Windows 7 Professional; Dreamspark (Imagine) № 6002662113, 6002662119, 6002662110, 6002662108, 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212<br>Акт предоставления прав № Tr023734 от 29.04.2015: «Права на программы для ЭВМ DreamSpark Premium Online 3 Years», срок: 3 года (с апреля 2015 г. по апрель 2018 г.) Поставщик: ЗАО «СофтЛайн Трейд»<br>Kaspersky Endpoint Security Standard; Лицензия № 1C1C-160801-082918-943-340 (кол-во объектов: 700 users), поставщик: ООО «Системная интеграция», срок пользования ПО: с 01.08.2016г. по 16.08.2018г |

## Приложение А (обязательное)

### Фонд оценочных средств учебной дисциплины «Физика и технология сверхвысокочастотных микроэлектронных приборов»

#### 1 Структура фонда оценочных средств

Фонд оценочных средств состоит из двух частей:

а) открытая часть - общая информация об оценочных средствах (название оценочных средств, проверяемые компетенции, баллы, количество вариантов заданий, методические рекомендации для применения оценочных средств и пр.), которая представлена в данном документе, а также те вопросы и задания, которые могут быть доступны для обучающегося;

б) закрытая часть - фонд вопросов и заданий, которая не может быть заранее доступна для обучающихся (экзаменационные билеты, вопросы к контрольной работе и пр.) и которая хранится на кафедре.

#### 2 Перечень оценочных средств текущего контроля и форм промежуточной аттестации

Таблица А.1 – Перечень оценочных средств

| №                        | Оценочные средства для текущего контроля | Разделы (темы) учебной дисциплины                  | Баллы      | Проверяемые компетенции |
|--------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------|-------------------------|
| 1.                       | Доклад                                   | Раздел 1. Физические основы СВЧ транзисторов       | 50         | ПК-2                    |
| 2.                       | Расчетная работа                         | Раздел 2. Технология изготовления СВЧ транзисторов | 200        |                         |
| Промежуточная аттестация |                                          |                                                    |            |                         |
|                          | Экзамен                                  |                                                    | 50         |                         |
|                          | <b>ИТОГО</b>                             |                                                    | <b>300</b> |                         |

#### 3 Рекомендации к использованию оценочных средств

##### 1) Доклад

| Критерии оценки                                  | Количество вариантов заданий |
|--------------------------------------------------|------------------------------|
| Логичная структура доклада, наличие выводов      | 13 вариантов                 |
| Самостоятельность при подготовке доклада         |                              |
| Умение отстаивать и доказывать свою точку зрения |                              |
| Выдерживание регламента                          |                              |
| Логичные и четкие ответы на вопросы              |                              |

Примерные темы докладов по разделу:

- Современные достижения СВЧ микроэлектроники.
- История и проблемы освоения СВЧ диапазона с помощью микроэлектронных приборов.
- Схемотехнический аспект СВЧ микроэлектроники.
- Преимущества и особенности арсенида галлия.
- Требования к материалам для ПТШ.

- Разновидности и модификации конструкций ПТШ в зависимости от частотного диапазона.
- Проблемы, методы и аппаратура для измерения параметров ПТШ в диапазоне СВЧ.
- Резисторы, конденсаторы и катушки индуктивности СВЧ ИС.
- Линии передачи высокочастотного сигнала, их основные типы и характеристики.
- Широкополосные усилители с распределенным усилением (усилители бегущей волны).
- Автогенераторы и смесители на ПТШ.
- Применение цифровых GaAs ИС.
- Особенности технологии pHEMT.

## 2) Расчетная работа

| Критерии оценки                                             | Количество вариантов заданий |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Микроэлектронное устройство спроектировано без ошибок       | 1                            |
| Продемонстрировано всестороннее и глубокое знание материала |                              |

### Пример расчетной работы.

В программе AIM-SPICE смоделируйте ПТШ на GaAs с длиной и шириной затвора 1 мкм и 20 мкм соответственно и пороговым напряжением 0,2 В. Остальные параметры транзистора возьмите по умолчанию. Постройте выходные и передаточные характеристики транзистора. Как влияют на эти характеристики значения сопротивлений стока и истока?

## 3) Экзамен

| <i>Критерии оценки</i>           | <i>Количество вариантов заданий</i> | <i>Количество вопросов</i> |
|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| Уверенное владение терминологией | 14                                  | 2 в билете                 |
| Глубина знаний по теме вопроса   |                                     |                            |
| Полнота ответа                   |                                     |                            |

На экзамене студентам предлагается по одному вопросу из теоретической части дисциплины и одному вопросу из практической части.

Примерные вопросы из теоретической части на экзамене.

- 1 Структура и принцип действия полевых транзисторов с барьером Шоттки (ПТШ).
- 2 Типовая конструкция ПТШ и важнейшие параметры его структуры.
- 3 Основные требования к материалу подложки и активного слоя ПТШ.
- 4 Конструктивно-технологические типы ПТШ.
- 5 Полевые транзисторы на гетероструктурах.
- 6 Полуизолирующий арсенид галлия и методы оценки его качества.
- 7 Барьеры Шоттки к GaAs.
- 8 Омические контакты к GaAs.
- 9 Граница раздела канал-подложка.
- 10 Граница раздела диэлектрик- полупроводниковые соединения  $A^3B^5$ .
- 11 Гетероструктуры на основе соединений  $A^3B^5$ .

- 12 рНЕМТ транзисторы.
  - 13 Элементы конструкции GaAs усилителей.
  - 14 Проблемы моделирования СВЧ элементов и устройств.
- Примерные вопросы из практической части на экзамене.
- 1 Проанализируйте топологию ПТШ малой мощности.
  - 2 Проанализируйте топологию ПТШ в аналоговых и цифровых интегральных схемах.
  - 3 Проанализируйте статические характеристики ПТШ.
  - 4 Проанализируйте усилительные и шумовые параметры ПТШ.
  - 5 Проанализируйте параметры режима большого сигнала ПТШ.
  - 6 Проанализируйте порядок измерения электрических параметров и характеристик ПТШ.
  - 7 Проанализируйте порядок расчета электрических характеристик ПТШ.
  - 8 Проанализируйте особенности расчета ПТШ с неоднородно легированным каналом.
  - 9 Проанализируйте физические эквивалентные схемы ПТШ для режима малого сигнала в СВЧ диапазоне.
  - 10 Проанализируйте эквивалентную схему ПТШ.
  - 11 Проанализируйте методы диагностики рНЕМТ структур.
  - 12 Проанализируйте схемы включения полевых транзисторов.
  - 13 Проанализируйте порядок расчета характеристик усилителей на ПТШ.
  - 14 Проанализируйте технологические этапы изготовления GaAs ПТШ.

Все материалы для проведения промежуточного контроля хранятся на кафедре.

### **Пример экзаменационного билета**

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого  
Институт электронных и информационных систем  
Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники

#### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №**

Учебная дисциплина **«Физика и технология сверхвысокочастотных  
микроэлектронных приборов»**

Для направления подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника  
Направленность (профиль) Микро- и наноэлектронные устройства

1. Структура и принцип действия полевых транзисторов с барьером Шотки (ПТШ).
2. Проанализируйте топологию ПТШ малой мощности.

Принято на заседании кафедры

«\_\_\_»\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Протокол № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ (ФИО)

**Приложение Б**  
(обязательное)  
**Карта учебно-методического обеспечения**

**Учебной дисциплины «Физика и технология сверхвысокочастотных  
микроэлектронных приборов»**

Таблица Б.1 – Основная литература

| Библиографическое описание издания<br>(автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)                                                                                                                                    | Кол. экз. в<br>библ.<br>НовГУ | Наличие в<br>ЭБС |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Печатные источники                                                                                                                                                                                                                  |                               |                  |
| 1 Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учеб. пособие: для вузов / В.И.Старосельский. - М.: Юрайт, 2011. - 463 с.                                                                                  | 12                            |                  |
| 2 Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий: учеб. пособие для вузов: в 2 т. Т. 1: Физико-химические основы технологии микроэлектроники / Ю.Д.Чистяков, Ю.П.Райнова. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 392 с. | 6                             |                  |
| Электронные ресурсы                                                                                                                                                                                                                 |                               |                  |
| 1                                                                                                                                                                                                                                   |                               |                  |
| 2                                                                                                                                                                                                                                   |                               |                  |

Таблица Б.2 –Дополнительная литература

| Библиографическое описание издания<br>(автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)                                                                                                                                                                                           | Кол. экз. в<br>библ.<br>НовГУ | Наличие в<br>ЭБС |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| Печатные источники                                                                                                                                                                                                                                                                         |                               |                  |
| 1 Васильев А.Г. СВЧ транзисторы на широкозонных полупроводниках: учеб. пособие: для вузов / А.Г.Васильев, Ю.В. Колковский, Ю.А.Концевой. - М.: Техносфера, 2011. - 253 с.                                                                                                                  | 5                             |                  |
| 2 Климачев И.И. СВЧ ГИС: Основы технологии и конструирования / Под науч. ред. А.Н.Королева. - М.: Техносфера, 2006. - 351с.                                                                                                                                                                | 2                             |                  |
| 3 Гаврилов С.А. Электрохимические процессы в технологии микро- и наноэлектроники: учеб. пособие для вузов. - М.: Высшее образование, 2009. – 257 с.                                                                                                                                        | 2                             |                  |
| 4 Спиридонов О.П. Физические основы твердотельной электроники: учеб. пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 2008. – 190 с.                                                                                                                                                                 | 12                            |                  |
| 5 Петров М.Н. Моделирование компонентов и элементов СБИС: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по спец. 210104 (200100) "Микроэлектроника и твердотельная электроника" / М. Н. Петров, Г. В. Гудков; Новгород. гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2006. - 584с. | 10                            |                  |

| Библиографическое описание издания<br>(автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)                                               | Кол. экз. в<br>библ.<br>НовГУ | Наличие в<br>ЭБС |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------|
| 6 Киреев В. Ю. Технологии микроэлектроники. Химическое осаждение из газовой фазы / В. Киреев, А. Столяров. - М.: Техносфера, 2006. - 190 с.    | 1                             |                  |
| 7 Ефимов И. Е. Основы микроэлектроники : учебник / И. Е. Ефимов, И. Я. Козырь. - 3-е изд., стер. - СПб. ; М. ; Краснодар: Лань, 2008. - 383 с. | 26                            |                  |
| Электронные ресурсы                                                                                                                            |                               |                  |
| 1                                                                                                                                              |                               |                  |
| 2                                                                                                                                              |                               |                  |

Зав. кафедрой  Б.Н. Селезнев  
подпись И.О.Фамилия  
« 01 » 02 20 19 г.

**Приложение В**  
(обязательное)

**Лист актуализации рабочей программы  
учебной дисциплины «Физика и технология сверхвысокочастотных  
микроэлектронных приборов»**

Рабочая программа актуализирована на 20\_\_/20\_\_ учебный год.  
Протокол № \_\_\_\_ заседания кафедры от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
Разработчик: \_\_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа актуализирована на 20\_\_/20\_\_ учебный год.  
Протокол № \_\_\_\_ заседания кафедры от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
Разработчик: \_\_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа актуализирована на 20\_\_/20\_\_ учебный год.  
Протокол № \_\_\_\_ заседания кафедры от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
Разработчик: \_\_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

Таблица В.1 Перечень изменений, внесенных в рабочую программу:

| Номер<br>изменения | № и дата<br>протокола<br>заседания<br>кафедры | Содержание изменений | Зав.кафедрой | Подпись |
|--------------------|-----------------------------------------------|----------------------|--------------|---------|
|                    |                                               |                      |              |         |
|                    |                                               |                      |              |         |
|                    |                                               |                      |              |         |
|                    |                                               |                      |              |         |
|                    |                                               |                      |              |         |
|                    |                                               |                      |              |         |
|                    |                                               |                      |              |         |
|                    |                                               |                      |              |         |
|                    |                                               |                      |              |         |
|                    |                                               |                      |              |         |
|                    |                                               |                      |              |         |