

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет радиотехники и электроники

“УТВЕРЖДАЮ”

Декан РЭФ

профессор, д.т.н. Хрусталева
Владимир Александрович

“ ___ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Проектирование микросистемных устройств СВЧ

ООП: специальность 210404.65 Многоканальные телекоммуникационные системы

Шифр по учебному плану: ОПД.В.2.2

Факультет: радиотехники и электроники очная форма обучения

Курс: 4, семестр: 8

Лекции: 30

Практические работы: - Лабораторные работы: 16

Курсовой проект: - Курсовая работа: - РГЗ: 8

Самостоятельная работа: 61

Экзамен: - Зачет: 8

Всего: 107

Новосибирск

2011

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению (специальности): 654400 Телекоммуникации.(№ 20 тех/дс от 10.03.2000)

ОПД.В.2.2, дисциплины по выбору студента

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры конструирования и технологии радиоэлектронных средств протокол № 5 от 04.07.2011

Программу разработал

доцент, к.т.н.

Раков Юрий Николаевич

Заведующий кафедрой

профессор, д.т.н.

Вострецов Алексей Геннадьевич

Ответственный за основную образовательную программу

профессор, д.т.н.

Вострецов Алексей Геннадьевич

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Шифр дисциплины	Содержание учебной дисциплины	Часы
ОПД.В.2.2	<p>Концептуальная записка по специальности 210404.65 "Многоканальные телекоммуникационные системы".</p> <p>ОПД.В. 2.2. Проектирование микроэлектронных устройств СВЧ 107ч</p> <p>Гибридная интегральная схема</p> <p>S-матрицы базовых элементов (узлов) схемы</p> <p>S-матрица схемы СВЧ</p> <p>Расчет линейного СВЧ усилителя на основе S-параметров</p> <p>Полевой транзистор с барьером Шоттки</p> <p>Полевой транзистор на гетероструктурах</p> <p>Биполярный СВЧ транзистор</p> <p>Полупроводниковые подложки (монокристаллы)</p> <p>Эпитаксиальные моно- и гетеро- структуры</p> <p>Диэлектрическая тонкая пленка</p> <p>Металлическая тонкая пленка</p> <p>Фотолитография</p> <p>Маршрут изготовления транзистора и монолитной схемы</p> <p>Монолитная интегральная схема</p>	107

2. Особенности (принципы) построения дисциплины

Таблица 2.1

Особенности (принципы) построения дисциплины	
Особенность (принцип)	Содержание

<p>Основания для введения дисциплины в учебный план по направлению или специальности</p>	<p>При создании рабочей программы по дисциплине "Проектирование микро-электронных устройств СВЧ" использованы следующие основные положения Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования - направление 654400 "Телекоммуникация". Направление подготовки квалифицированного специалиста - инженер утверждено приказом Минобразования РФ №686 от 02.03.2000г, регистрационный номер № 20 тех/дс от 10.03.2000г. и решением Ученого совета факультета РЭФ, протокол № 5 от 23.05.2007г.</p> <p>Курс "Проектирование микро-электронных устройств СВЧ" входит в число региональных специальных дисциплин, включенных в программы подготовки инженеров по направлению 210404.</p>
<p>Адресат курса</p>	<p>Студент специальности 210404.65 "Многоканальные телекоммуникационные системы".</p>
<p>Основная цель (цели) дисциплины</p>	<p>Иметь представление о физических принципах работы микроэлектронных СВЧ устройств, включающих активные и пассивные элементы схем и отдельные полупроводниковые приборы. Иметь представление о современных направлениях развития технологии микроэлектроники СВЧ. Иметь представление о технологии изготовления кремниевых биполярных транзисторов и полевых транзисторов на арсениде галлия, включая транзисторы на гетеропереходах. Уметь воспринимать современные публикации по вопросам технологии и конструирования п/п устройств СВЧ. Овладение современными методами проектирования усилителей, смесителей и фазовращателей СВЧ диапазона. Иметь представление о стандартах технологической и конструкторской документации.</p>
<p>Ядро дисциплины</p>	<p>Материалы полупроводниковой электроники СВЧ. Методы выращивания и контроля параметров монокристаллов (подложек) и эпитаксиальных структур. Методы нанесения диэлектрических и металлических слоев. Биполярные кремниевые транзисторы, полевые транзисторы на арсениде галлия и гетероструктурах на основе ALGaAs/GaAs, ALGaAs/InGaAs и ALGaN/GaN. Монолитные СВЧ схемы на Si и GaAs. Методы расчета монолитных СВЧ схем.</p>
<p>Связи с другими учебными дисциплинами основной образовательной программы</p>	<p>Физика полупроводниковых приборов. Физические основы микроэлектроники. Основы теории цепей. Информатика с применением ПЭВМ. Общая химия. Материаловедение.</p>
<p>Требования к первоначальному уровню подготовки обучающихся</p>	<p>Предварительное или параллельное изучение курса "Микроэлектроника СВЧ".</p>
<p>Особенности организации учебного процесса по дисциплине</p>	<p>Курс включает лекционные занятия, лабораторные работы, два расчетно-графических задания. Форма оценки успеваемости студента - Зачет и Незачет.</p>

3. Цели учебной дисциплины

Таблица 3.1

После изучения дисциплины студент будет

иметь представление	
1	о фундаментальной связи параметров полупроводниковых пленок и параметров при-боров и основах электроники СВЧ, о технологических маршрутах изготовления тран-зисторов.
знать	
2	основные принципы, конструкцию и технологию изготовления пассивных (линии передачи) и актив-ных (диоды и транзисторы) элементов микроэлектронных устройств СВЧ в гибридном и монокристаллическом исполнении.
уметь	
3	проектировать конструкцию и технологию различных устройств СВЧ.
4	применять типовые технологические процессы при изготовлении микроэлектронных устройств СВЧ,
5	работать с технической (отечественной и зарубежной) информацией, технологической документацией и патентной информацией при решении профессиональных задач;
иметь опыт (владеть)	
6	применения диаграммы Смита при расчете согласующих цепей диодов и транзисторов СВЧ
7	работы с программой "ДИСАПР" при расчете гибридных и монокристаллических схем СВЧ.

4. Содержание и структура учебной дисциплины

Лекционные занятия

Таблица 4.1

(Модуль), дидактическая единица, тема	Часы	Ссылки на цели
Семестр: 8		
Модуль: Введение в курс. Тенденции развития микроэлектронных устройств СВЧ.		
Дидактическая единица: Гибридная интегральная схема		
1. Микроэлектронные устройства СВЧ. 2. Укрупненный маршрут изготовления полупроводниковых МЭУ СВЧ. 3. Обзор материалов полупроводниковой электроники СВЧ.	2	1, 5
Дидактическая единица: Металлическая тонкая пленка		
16. Методы нанесения металлических пленок: А) Барьерные контакты в кремниевых и арсенид-	2	2, 3, 4

галиевых приборах. Б) Омические контакты в кремниевых и арсенид-галиевых приборах		
Модуль: S-матрицы и их использование при проектировании микроэлектронных устройств (МЭУ) СВЧ		
Дидактическая единица: S-матрица базовых элементов (узлов) схем СВЧ		
4. Понятие параметров рассеяния (S-параметров). А) S-параметры 4-х полюсника. Физический смысл. Измерение S-параметров. Б) S-параметры 2-п полюсника. Матричное представление. 5. S-матрицы ряда элементов (узлов) СВЧ: А) Отрезка линии передачи с потерями. Б) Отрезок связанной 2-х проводной линии с потерями. В) Последовательно включенного комплексного сопротивления (импеданса) Г) Параллельно включенного сопротивления. Д) Скачка волнового сопротивления. Е) Т-образного соединения сосредоточенных импедансов. Ж) П - образного соединения сосредоточенных импедансов. Д) Лучевое соединение.	4	1, 3, 5
Дидактическая единица: S-матрица схемы СВЧ		
6. Расчет СВЧ схем: Каскадирование 4-х полюсников. Каскадирование 2n -полюсников. 7. Другие алгоритмы свертки матриц и расчета итоговой S-матрицы схемы.	2	3, 5
Дидактическая единица: Расчет линейного СВЧ усилителя на основе S-параметров		
8. Элементы теории расчета линейных СВЧ усилителей на основе S-параметров. 9. Последовательность проведения расчета усилителя СВЧ в режиме малого сигнала с применением программы "ДИСАПР"	2	2, 3, 5
Модуль: Полевой СВЧ транзистор с барьером Шоттки		
Дидактическая единица: Полевой транзистор с барьером Шоттки		
10. СВЧ полевой транзистор на арсениде галлия с барьером Шоттки: основы работы, конструкция и технология изготовления	2	1, 2, 3
Модуль: Полевые СВЧ транзисторы на гетероструктурах		
Дидактическая единица: Полевой транзистор на		

гетероструктурах		
11. Полевые СВЧ транзисторы на гетероструктурах Транзисторы на гетероструктурах А) ALGaAs/GaAs, Б) ALGaAs/InGaAs/GaAs В) ALGaN/GaN.	2	1, 3
Модуль: Биполярные СВЧ транзисторы		
Дидактическая единица: Биполярный СВЧ транзистор		
12. Биполярные транзисторы : основы работы, конструкция и технология изготовления. А) Транзисторы на кремнии Б) Транзисторы на гетероструктурах ALGaAs/GaAs.	4	1, 3, 5
Модуль: Подложки и эпитаксиальные структуры		
Дидактическая единица: Полупроводниковые подложки (монокристаллы)		
13. Полупроводниковые подложки: А) Методы получения монокристаллов. Б) Резка слитков на пластины и шлифовка и полировка пластин. В) Методы контроля пластин.	1	1, 3, 4
Дидактическая единица: Эпитаксиальные моно- и гетеро-структуры		
14. Методы получения эпитаксиальных пленок: А) Конденсация из паровой фазы в вакууме Б) Эпитаксия из газовой фазы. В) Жидкофазная эпитаксия. Г) Молекулярно-лучевая эпитаксия. Д) Методы контроля параметров эпитаксиальных слоев.	1	1, 3, 4
Модуль: Нанесение тонких пленок		
Дидактическая единица: Диэлектрическая тонкая пленка		
15. Методы наращивания диэлектрических пленок SiO ₂ и Si ₃ N ₄ .	2	2, 3, 4
Модуль: Фотолитография тонких пленок		
Дидактическая единица: Фотолитография		
17. Основной инструмент фотолитографии- фотошаблоны. Виды фотошаблонов и технология их изготовления. 18. Методы фотолитографии. 19. Методы химической обработки пластин и слоев. 20. Изотропное и селективное травление. 21. Влажное химическое травление при изготовлении п/п приборов. 22. Плазмохимическое травление при изготовлении п/п приборов.	2	2, 3, 4

Модуль: Конструкции и маршруты изготовления монолитных интегральных схем СВЧ		
Дидактическая единица: Маршрут изготовления транзистора и монолитной схемы		
23. Маршрут изготовления кремниевых биполярных приборов и монолитных схем. 24. Маршрут изготовления полевых транзисторов с барьером Шоттки и монолитных схем на GaAs. 25. Функционирование и разбраковка приборов и монолитных схем. 26. Измерение СВЧ параметров монолитных схем на пластине. 27. Виды конструкций транзисторов СВЧ. Технология сборки приборов и схем.	2	2, 3, 4, 5
Модуль: Проектирование монолитных усилителей мощности		
Дидактическая единица: Монолитная интегральная схема		
28. Проектирование конструкции: А) Монолитных полосовых усилителей СВЧ. Б) Монолитных усилителей с распределенным усилением. В) Широкополосных усилителей с обратной связью.	2	1, 3, 4, 5

Лабораторная работа

Таблица 4.2

(Модуль), дидактическая единица, тема	Учебная деятельность	Часы	Ссылки на цели
Семестр: 8			
Модуль: Расчет элементов схемы			
Дидактическая единица: S-матрица схемы СВЧ			
Расчет цепей согласования стандартной нагрузки (генератора) и выходного (входного) импеданса транзистора на конкретной частоте.	С помощью диаграммы Смита производится синтез структуры и расчет номиналов сосредоточенных элементов T-образной согласующей L-C цепи.	3	1, 2
Дидактическая единица: Полевой транзистор с барьером Шоттки			
Расчет теплового сопротивления биполярного и полевого транзистора, транзистора в балансном усилителе мощности по методу упрощенных эквивалентов.	Студенты знакомятся с методом упрощенных тепловых эквивалентов по статье Раков Ю. Н. Инженерный метод	5	3, 5

	расчета тепловых сопротивлений мощных транзисторов и элементов интегральных схем //Электронная техника.- Электроника СВЧ.- 1983.-Вып.11.- С.17-23.		
Дидактическая единица: Гибридная интегральная схема			
Расчет усилителя ВЧ.	Рассчитывается усилитель ВЧ с применением сосредоточенных элементов схемы.	2	1, 2, 3
Модуль: Монолитный СВЧ усилитель и его оптимизация			
Дидактическая единица: Монолитная интегральная схема			
Расчет и оптимизация СВЧ монолитного усилителя на арсениде галлия	Студенты знакомятся с четырьмя примерами расчета и реализации различных схем монолитных усилителей мощности, а также с технологией их изготовления на основе статей на английском языке: 1) I.J. Bahl. et all. "C-Band 10W MMIC Class-A Amplifier Manufactured Using the Refractory SAG Process". IEEE Trans. 1989. Vol. MTT-37, N 12, pp.2154-2158. 2) S. Deibele and J. B. Beyer. "Attenuation Compensation in Distributed Amplifier Design". IEEE Trans. 1989. Vol. MTT-37, N 8, pp.1425-1433. 3) K. B. Niclas, et all. "A 2-18GHz Low-Noise / High-Gain Amplifier Module". IEEE Trans. 1989, Vol. MTT-37, N1, pp.198-207. 4) N. Camilleri et all. Monolithic 9 to 70 Ghz	6	2, 3, 4, 5

	Distributed Amplifier. IEEE 1990 Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Circuits Symposium, pp. 27-30. Затем производится кодировка топологии усилителей, их расчет и оптимизация с применением программы "ДИСАПР".		
--	---	--	--

5. Самостоятельная работа студентов

Семестр- 8, Подготовка к зачету

Изучение конспекта лекций и рекомендуемой литературы в соответствии с контрольными билетами. Сдача зачета. Отведенное время 26час.

Семестр- 8, РГЗ

РГЗ-1 "Расчет теплового сопротивления транзистора" - 3 варианта топологии транзистора: биполярного на кремнии и 2-х - на арсениде галлия и транзистора в составе микросборки балансного усилителя с конечными размерами. Работа включает изучение статьи с описанием метода расчета с применением упрощенных тепловых эквивалентов, составление программы расчета по стандартному математическому пакету и расчет. Отведенное время на подготовку и исполнение РГЗ-1 -10часов.

РГЗ-2 "Расчет и оптимизация усилителя мощности по программе "ДИСАПР". Работа предполагает чтение и перевод с английского языка одной из статей, приведенных в лабораторной работе 4, изучение технологии изготовления монолитного усилителя, кодировку его топологии и расчет выходных характеристик усилителя, сравнение с результатами измерения СВЧ характеристик и проверка возможности дальнейшего улучшения параметров путем оптимизации его топологии. Отведенное время на подготовку и исполнение РГЗ-2 - 20часов.

Семестр- 8, Подготовка к занятиям

Подготовка к занятиям включает ознакомление с материалом предыдущих лекций, изучение рекомендуемой основной и дополнительной литературы. Отведенное время 5 часов

6. Правила аттестации студентов по учебной дисциплине

Введение

Для аттестации студентов по дисциплине используется балльно-рейтинговая система. В течение 8 семестра необходимо выполнить 16 часов лабораторных работ и 2 РГЗ в сроки, установленные учебным графиком. Общее количество баллов за текущую деятельность составляет не более 15 баллов и количество за итоговую аттестацию (зачет) не более 5 баллов.

Правила текущей аттестации

1. К защите РГЗ допускается студент, выполнивший свой вариант заданий и представивший отчет по установленной форме.
2. На защите студент должен ответить на 1-3 вопроса по выполненной работе.
3. Максимальное количество баллов - 5 и минимальное - 3.
4. Передача РГЗ назначается в том случае, если студент не ориентируется в учебном материале, не может объяснить ход решения работы. Передача работы сопровождается 20% потерей суммарных баллов.
5. За посещаемость лекций и лабораторных работ также вводится балловый рейтинг: за посещение не менее 80% занятий полагается 5 баллов, не менее 70% - 4 балла и не менее 60% - 3.

Правила итоговой аттестации

1. К зачету допускаются студенты, защитившие контрольную работу и два РГЗ.
2. Зачет проводится по двум вопросам, указанным в билете, на который студент должен дать исчерпывающий ответ, и 3 - 5 дополнительным вопросам по остальному содержанию курса. Суммарная оценка выставляется по пяти-балльной системе.
3. Суммарный рейтинг текущей аттестации и итоговой аттестации учитывается при выставлении результирующей оценки : при общем количестве баллов не менее 13, в том числе, при оценке итоговой аттестации не менее 3 баллов ставится общая оценка - **ЗАЧТЕНО**.
4. При суммарной оценке менее 13 баллов ставится общая оценка - **НЕ ЗАЧТЕНО**.

7. Список литературы

7.1 Основная литература

В печатном виде

1. Справочник по расчету и конструированию СВЧ полосковых устройств / [С. В. Бахарев и др.] ; под ред. В. И. Вольмана. - М., 1982. - 328 с. : ил., граф., табл., схемы
2. Данилов В. С. Микроэлектроника СВЧ : [учебное пособие для вузов по специальности 210201 "Проектирование и технология радиоэлектронных средств" направления 210200 "Проектирование и технология электронных средств"] / В. С. Данилов. - Новосибирск, 2007. - 291 с. : ил. - Рекомендовано УМО.

В электронном виде

1. Данилов В. С. Микроэлектроника СВЧ : [учебное пособие для вузов по специальности 210201 "Проектирование и технология радиоэлектронных средств" направления 210200 "Проектирование и технология электронных средств"] / В. С. Данилов. - Новосибирск, 2007. - 291 с. : ил.. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2007/danilov.pdf> - Рекомендовано УМО.

7.2 Дополнительная литература

В печатном виде

1. Полевые транзисторы на арсениде галлия : принципы работы и технология изготовления / под ред. Д. В. Ди Лоренцо, Д. Д. Канделуола ; пер. с англ. под ред. Г. В. Петрова. - М., 1988. - 494, [1] с. : ил.
2. Сазонов Д. М. Антенны и устройства СВЧ : учебник для вузов по специальности "Радиотехника" / Д. М. Сазонов. - М., 1988. - 430, [2] с. : ил. - Рекомендовано МО.
3. Шур М. С. Современные приборы на основе арсенида галлия : пер. с англ. / М. Шур ; под ред. М. Е. Левинштейна, В. Е. Челнокова. - М., 1991. - 632 с. : ил.
4. Батавин В. В. Измерение параметров полупроводниковых материалов и структур / В. В. Батавин, Ю. А. Концевой, Ю. В. Федорович. - М., 1985. - 263, [1] с. : ил.
5. Мартинес-Дуарт Д. М. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники / Дж. М. Мартинес-Дуарт, Р. Дж. Мартин-Палма, Ф. Агулло-Руеда ; пер. с англ. А. В. Хачояна : под ред. Е. Б. Якимова. - М., 2009. - 367 с. : ил.
6. Данилин В. Н. Аналоговые полупроводниковые интегральные схемы СВЧ / В. Н. Данилин, А. И. Кушниренко, Г. В. Петров. - М., 1985. - 191, [2] с.
7. Нанотехнологии в электронике / [Н. И. Боргардт, В. Н. Кукин, С. Н. Мазуренко и др.] ; под ред. Ю. А. Чаплыгина. - М., 2005. - 446 с. : ил.. - Авт. указаны в содерж.
8. Пичугин И. Г. Технология полупроводниковых приборов : учебное пособие для вузов по специальностям "Полупроводники и диэлектрики", "Полупроводниковые и микроэлектронные приборы" / И. Г. Пичугин, Ю. М. Таиров. - М., 1984. - 287, [1] с. : ил. - Рекомендовано МО.
9. Бушминский И. П. Технологическое проектирование микросхем СВЧ : Учеб. пособие по спец. "Проектирование и технология радиоэлектрон. средств". - М., 2001. - 355 с. : ил.
10. Курносов А. И. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем : учебное пособие для вузов по спец. "Полупроводники и диэлектрики" и "Полупроводниковые приборы" / А. И. Курносов, В. В. Юдин. - М., 1979. - 366, [1] с. : ил. - Рекомендовано МО.
11. Арсенид галлия в микроэлектронике : [монография] / [У. Уиссмен и др.]. - М., 1988. - 555 с.

12. Готра З. Ю. Технология микроэлектронных устройств : справочник / З. Ю. Готра. - М., 1991. - 527, [1] с. : ил.

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

В печатном виде

1. Данилов В. С. Микроэлектроника СВЧ. Ч. I : учебное пособие [для 5 курса КТРС РЭФ всех форм обучения] / В. С. Данилов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2002. - 95 с. : ил.
2. Широкополосные полупроводниковые устройства СВЧ : программа, методические указания и контрольные задания для 4 курса факультета радиотехники, электроники и физики (специальность 200700) заочного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. В. А. Яковенко]. - Новосибирск, 2003. - 17 с. : табл.

В электронном виде

1. Широкополосные полупроводниковые устройства СВЧ : программа, методические указания и контрольные задания для 4 курса факультета радиотехники, электроники и физики (специальность 200700) заочного отделения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. В. А. Яковенко]. - Новосибирск, 2003. - 17 с. : табл.. - Режим доступа:
<http://www.library.nstu.ru/fulltext/metodics/2003/2499.rar>

9. Контролирующие материалы для аттестации студентов по дисциплине
Экзаменационные Билеты по курсу
"Проектирование микроэлектронных устройств СВЧ".

Билет № 1

1. Способы выращивания полупроводниковых слитков. Резка слитков на пластины.
2. Монолитные и квазимонолитные схемы на арсениде галлия, свойства материала, состав схемы.
3. Принцип работы полевого транзистора с барьером Шоттки.

Билет № 2

1. Газовая эпитаксия кремния.
2. Влажное химическое травление.
3. Разновидности и СВЧ параметры гетероструктурных транзисторов.

Билет № 3

1. Ионное и плазмохимическое травление металлов и диэлектриков. Виды установок.
2. Сосредоточенные и распределенные элементы СВЧ схем.
3. Особенности работы гетероструктурных биполярных транзисторов по сравнению с БТ на кремнии.

Билет № 4

1. Способы и установки напыления тонких пленок металлов.
2. Проектирование линейных усилителей мощности по S- параметрам.
3. Физический смысл S-параметров 4-х полюсников.

Билет № 5

1. Маршрут изготовления полевого транзистора с барьером Шоттки, состав.
2. Расчет резистора.
3. Проектирование однокаскадных линейных усилителей мощности по S-параметрам.

Билет № 6

1. Операции резки пластин на кристаллы. Способы резки, преимущества и недостатки..
2. Корпусирование СВЧ ГИС.
3. Особенности работы гетероструктурных биполярных транзисторов по сравнению с БТ на кремнии.

Билет № 7

1. Этапы НИР и ОКР.
2. Коаксиально-полосковые переходы СВЧ.
3. Физический смысл S-параметров 4-х полюсников.

Билет № 8

1. Способы получения рисунка металла.
2. Операции пайки плат ГИС.
3. Принцип работы полевого транзистора с барьером Шоттки.

Билет № 9

1. Фотошаблоны и их предназначение.
2. Операции фотолитографии.
3. Принцип работы полевого транзистора с барьером Шоттки.

Билет № 10

1. Легирование полупроводниковых слоев. Способы и их преимущества и недостатки..
2. Корпусирование СВЧ транзистора.
3. Принцип работы полевого транзистора с барьером Шоттки.

Билет № 11

1. Виды и характер травления полупроводниковых пленок.
2. Прямой и перевернутый монтаж кристаллов в кристаллодержатель (корпус).
3. Особенности работы гетероструктурных биполярных транзисторов по сравнению с БТ на кремнии.

Билет № 12

1. Последовательность изготовления монолитных схем СВЧ на GaAs (рисунок).
2. Термокомпрессионная и ультразвуковая способы сварки проволоочек.
3. Гетероструктурный полевой транзистор на GaN.