

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 проектирования и технологии радиоаппаратуры

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИЭИС  
*С.И. Эминов*  
«25» \_\_\_\_\_ 2020 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
учебной дисциплины

**УСТРОЙСТВА ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**  
для направления подготовки

11.03.03 Конструирование и технология электронных средств  
Направленность (профиль) Проектирование и технология радиоэлектронных средств

СОГЛАСОВАНО  
Заместитель директора ИЭИС

*Ариас* Е.А. Ариас  
(подпись)  
«25» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Разработал  
Доцент кафедры ПТРА

*Семенов* Г.А. Семенов  
(подпись)  
«21» \_\_\_\_\_ 2020 г.

Принято на заседании кафедры  
Протокол № 4 от «22» \_\_\_\_\_ 2020 г.  
Заведующий кафедрой

*Бичурин* М.И. Бичурин  
(подпись)  
«22» \_\_\_\_\_ 2020 г.

## 1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Цель освоения учебной дисциплины: формирование компетентности студентов в области устройств интегральной электроники, способствующей становлению их готовности к решению задач профессиональной деятельности.

Задачи:

- а) сформировать у обучающихся базовые знания в области устройств интегральной электроники;
- б) сформировать у обучающихся навыки проектирования устройств интегральной электроники и технологических процессов их изготовления;
- в) сформировать у обучающихся знания закономерностей, правил и методов, действующих в процессе изготовления устройств интегральной электроники, чтобы использовать эти закономерности для обеспечения требуемого качества устройств интегральной электроники и наименьшей их себестоимости.
- г) сориентировать обучающихся на использование полученных знаний в будущей профессиональной деятельности.

## 2 Место учебной дисциплины в структуре ОПОП

Учебная дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, основной профессиональной образовательной программы направления подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств направленность (профиль) Проектирование и технология радиоэлектронных средств. Изучение учебной дисциплины предполагает наличие входных требований, поэтому оно базируется на знаниях и умениях, полученных обучающимися в рамках университета на предыдущих курсах: «Инженерная и компьютерная графика», «Материалы электронной техники», «Компоненты электронной техники», «Схемотехника», «Основы микро- и нанoeлектроники».

Освоение учебной дисциплины является компетентностным ресурсом для прохождения производственной практики (практика преддипломная), выполнения и защиты выпускной квалификационной работы.

## 3 Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Перечень компетенций, которые формируются в процессе освоения учебной дисциплины:

ПК-2 Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик конструкций и технологических процессов электронных средств различного функционального назначения;

ПК-3 Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования.

Результаты освоения учебной дисциплины представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты освоения учебной дисциплины

Код и наименование компетенции	Результаты освоения учебной дисциплины (индикаторы достижения компетенций)	
	ПК-2 Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Знает методики проведения исследований параметров и характеристик узлов,

конструкций и технологических процессов электронных средств различного функционального назначения	блоков	и технологических процессов	
ПК-3 Способен выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования	ИД-1 <sub>ПК-3</sub> Знает принципы конструирования отдельных узлов и блоков электронных приборов	ИД-2 <sub>ПК-3</sub> Умеет проводить оценочные расчеты характеристик электронных приборов	ИД-3 <sub>ПК-3</sub> Владеет навыками подготовки принципиальных и монтажных электрических схем

## 4 Структура и содержание учебной дисциплины

### 4.1 Трудоемкость учебной дисциплины

4.1.1 Трудоемкость учебной дисциплины для очной формы обучения представлена в таблице 2.

Таблица 2 - Трудоемкость учебной дисциплины для очной формы обучения

Части учебной дисциплины	Всего	Распределение по семестрам
		8 семестр
1. Трудоемкость учебной дисциплины (модуля) в зачетных единицах (ЗЕТ)	<b>5</b>	5
2. Контактная аудиторная работа в академических часах (АЧ)	<b>92</b>	92
3. Курсовая работа/курсовой проект (АЧ) <i>(при наличии)</i>	<b>0</b>	0
4. Внеаудиторная СРС в академических часах (АЧ)	<b>88</b>	88
5. Промежуточная аттестация <i>(зачет; дифференцированный зачет; экзамен) (АЧ)</i>	<b>экзамен 36</b>	экзамен 36

4.1.2 Трудоемкость учебной дисциплины для заочной формы обучения представлена в таблице 3.

Таблица 3 - Трудоемкость учебной дисциплины для заочной формы обучения

Части учебной дисциплины	Всего	Распределение по семестрам
		9 семестр
6. Трудоемкость учебной дисциплины (модуля) в зачетных единицах (ЗЕТ)	<b>5</b>	5
7. Контактная аудиторная работа в академических часах (АЧ)	<b>52</b>	52
8. Курсовая работа/курсовой проект (АЧ) <i>(при наличии)</i>	<b>0</b>	0
9. Внеаудиторная СРС в академических часах (АЧ)	<b>128</b>	128
10. Промежуточная аттестация <i>(зачет; дифференцированный зачет; экзамен) (АЧ)</i>	<b>экзамен 36</b>	экзамен 36

### 4.2 Содержание учебной дисциплины

#### Раздел 1. Проектирование интегральных устройств электроники (ИУЭ)

##### 1.1 Классификация микросхем.

Основные этапы развития электроники. Современное состояние электронной компонентной базы (ЭКБ). Государственные программы по развитию ЭКБ и импортозамещению. Система обозначений отечественных микросхем. Классификация

микросхем. Аналоговые микросхемы. Цифровые микросхемы. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. Полупроводниковые запоминающие устройства. Микропроцессоры. Микроконтроллеры. Базовые матричные кристаллы. Системы на кристалле.

### 1.2 Конструкция биполярных микросхем.

Интегральные планарно-эпитаксиальные биполярные транзисторы. Многоэмиттерные транзисторы. Многоколлекторные транзисторы. Интегральные диоды. Интегральные конденсаторы. Интегральные резисторы. Способы изоляции элементов. Коммутационные проводники. Контактные площадки. Внешние выводы микросхем. Сквозные отверстия. Вспомогательные элементы.

### 1.3 Конструкция полевых микросхем.

Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом. Полевые транзисторы с изолированным затвором. МДП транзисторы с индуцированным каналом. МДП транзисторы со встроенным каналом. Вертикальные V-МДП транзисторы. Диффузионные полевые ДМОП транзисторы. МНОП транзисторы с двухслойным подзатворным диэлектриком. Транзисторы с плавающим затвором. Транзисторы с двойным затвором. Комплементарные КМОП транзисторы. Биполярно-полевые БиКМОП транзисторы.

### 1.4 Микросхемы на широкозонных полупроводниках ЭКБ СВЧ диапазона.

Прием-передающие модули. GaAs МИС. Применение GaN и SiC.

### 1.5 Конструкция гибридных микросхемы (ГИС) и микросборок (МСБ).

Особенности ГИС и МСБ. Подложки. Толстопленочные и тонкопленочные гибридные микросхемы. Пленочные резисторы, конденсаторы, индуктивности. Подгоняемые пленочные элементы. Навесные компоненты. Особенности СВЧ ГИС.

### 1.6 Герметизация микросхем.

Влияние внешних факторов на параметры и надежность микросхем. Способы герметизации. Бескорпусная герметизация. Конструкция и классификация корпусов.

### 1.7 Оформление конструкторской документации (КД) на микросхемы.

Основные положения ЕСКД. Комплектность КД на микросхемы. Условное графическое обозначение элементов. Схемы электрические. Топологические чертежи. Сборочные чертежи. Спецификация. Маркировка. Упаковка.

## **Раздел 2. Технология ИУЭ**

### 2.1 Общая характеристика технологии производства.

Основные этапы изготовления ИУЭ. Электронная гигиена. Требования к параметрам воздушной среды. Чистые помещения. Одежда персонала. Технологическая тара.

### 2.2 Исходные материалы и полуфабрикаты.

Полупроводниковые материалы. Получение и очистка исходных материалов. Выращивание монокристаллов. Получение поликристаллических веществ и стекол. Конструкционные материалы. Химические вещества. Деионизованная вода. Газы. Техника безопасности и охрана труда при работе с веществами и материалами.

### 2.3 Подготовка подложек.

Подложки. Форма подложек. Ориентация слитков. Резка слитков на подложки. Кристаллографическая ориентация подложек. Маркировка. Механическая обработка подложек. Лазерное и дисковое скайбирование. Типы загрязнений на различных стадиях техпроцесса. Типовые средства очистки. Методы контроля чистоты поверхности.

### 2.4 Эпитаксия.

Классификация процессов эпитаксии. Газофазная эпитаксия. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Жидкофазная эпитаксия. Легирование растущих эпитаксиальных слоев. Эпитаксия кремния и соединений  $A^3B^5$  и  $A^2B^6$ . Методы контроля параметров слоев.

### 2.5 Процессы формирования легированных слоев.

Диффузия. Диффузанты кремниевой технологии. Ионное легирование. Источники ионов. Системы формирования и сепарации ионных пучков. Профиль распределения

внедренных ионов. Радиационные дефекты. Применение отжига для активации примесей. Методы контроля глубины залегания легированных областей и профиля распределения.

#### 2.6 Процессы формирования диэлектрических слоев.

Диэлектрические пленки в технологии ИУЭ. Методы получения пленок диоксида, нитрида, карбида и оксинитрида кремния и примесно-силикатных стекол. Термическое окисление. Плазменное окисление. Пиролитическое осаждение. Плазмохимическое осаждение. Атомно-слоевое осаждение. Золь-гель метод. Анодное окисление. Исследование свойств диэлектрических пленок.

#### 2.7 Процессы формирования металлических пленок.

Металлические пленки в технологии ИУЭ. Вакуумное резистивное, электронно-лучевое, магнетронное, ионное и катодное распыление. Электрохимическое осаждение.

#### 2.8 Литографические процессы.

Базовые операции фотолитографии. Фоторезисты. Фотошаблоны. Контактная и проекционная фотолитография. Обратная фотолитография. Литография в жестком ультрафиолете. Электронно-лучевая литография. Рентгенолитография.

#### 2.9 Травление.

Процессы химического травления. Полирующее, селективное, локальное травление. Анизотропное травление. Электрохимическая обработка поверхности. Травление кремния, диоксида кремния, нитрида кремния, поликремния, арсенида галлия, металлов. Процессы сухого травления. Механизмы ионного, ионно-химического и плазмохимического травления. Оборудование и источники ионов.

#### 2.10 Толсто пленочная технология.

Технология толстых пленок. Трафаретная печать. Резистивные, проводящие и диэлектрические пасты. Методы помола и контроля дисперсности порошка. Реологические свойства пасты. Изготовление трафаретов. Нанесение и вжигание паст. Оборудование.

#### 2.11 Технология сборки и герметизации.

Основные сборочные операции. Проволочный монтаж. Непроволочный монтаж внешних выводов. Монтаж жесткими объемными выводами. Монтаж кристаллов на коммутационной плате. Соединение кристалла клеем, припоями, эвтектикой. Микросварка и микропайка. УЗ сварка. Термокомпрессия. Метод перевернутого кристалла. Типы корпусов и технология их производства. Защита от альфа-частиц. Герметизация пластмассой. Герметизация корпусов пайкой и сваркой. Герметизация полимерных и керамических корпусов. Бескорпусная герметизация. Методы контроля герметичности.

### 4.3 Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

Таблица 4 - Трудоемкость разделов учебной дисциплины

№	Наименование разделов (тем) учебной дисциплины (модуля), УЭМ, наличие КП/КР	Контактная работа (в АЧ)					Вне-ауд. СРС (в АЧ)	Формы текущего контроля	
		Аудиторная			В т.ч. СРС	КП / КР			ЭКЗ.
		ЛЕК	ПЗ	ЛР					
<b>Раздел 1. Проектирование интегральных устройств электроники (ИУЭ)</b>									
1.1	Классификация микросхем. Основные этапы развития электроники. Современное состояние электронной компонентной базы (ЭКБ). Государственные программы по развитию ЭКБ и импортозамещению. Система обозначений отечественных микросхем. Классификация микросхем. Аналоговые микросхемы. Цифровые микросхемы. Аналого-цифровые и	0,5	3		1		5	Контрольный опрос	

	цифро-аналоговые преобразователи. Полупроводниковые запоминающие устройства. Микропроцессоры. Микроконтроллеры. Базовые матричные кристаллы. Системы на кристалле.								
1.2	Конструкция биполярных микросхем. Интегральные планарно-эпитаксиальные биполярные транзисторы. Многоэмиттерные транзисторы. Многоколлекторные транзисторы. Интегральные диоды. Интегральные конденсаторы. Интегральные резисторы. Способы изоляции элементов. Коммутационные проводники. Контактные площадки. Внешние выводы микросхем. Сквозные отверстия. Вспомогательные элементы.	1	3		0,5			5	Контрольный опрос, доклад
1.3	Конструкция полевых микросхем. Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом. Полевые транзисторы с изолированным затвором. МДП транзисторы с индуцированным каналом. МДП транзисторы со встроенным каналом. Вертикальные V-МДП транзисторы. Диффузионные полевые ДМОП транзисторы. МНОП транзисторы с двухслойным подзатворным диэлектриком. Транзисторы с плавающим затвором. Транзисторы с двойным затвором. Комплементарные КМОП транзисторы. Биполярно-полевые БиКМОП транзисторы.	0,5	1		0,5			5	Контрольный опрос, доклад
1.4	Микросхемы на широкозонных полупроводниках ЭКБ СВЧ диапазона. Прием-передающие модули. GaAs МИС. Применение GaN и SiC.	0,5	1		0,5			4	Контрольный опрос, доклад
1.5	Конструкция гибридных микросхем (ГИС) и микросборок (МСБ). Особенности ГИС и МСБ. Подложки. Толстопленочные и тонкопленочные гибридные микросхемы. Пленочные резисторы, конденсаторы, индуктивности. Подгоняемые пленочные элементы. Навесные компоненты. Особенности СВЧ ГИС.	1	3		0,5			5	Контрольный опрос, доклад
1.6	Технология сборки и монтажа. Герметизация микросхем. Влияние внешних факторов на параметры и надежность микросхем. Способы герметизации. Бескорпусная герметизация. Конструкция и классификация корпусов.	1	3		1			5	Контрольный опрос
1.7	Оформление конструкторской документации (КД) на микросхемы. Основные положения ЕСКД. Комплектность КД на микросхемы. Условное графическое обозначение элементов. Схемы электрические. Топологические чертежи. Сборочные чертежи. Спецификация. Маркировка. Упаковка.	1	3		0,5			5	Контрольный опрос

Раздел 2. Технология ИУЭ								
2.1	Общая характеристика технологии производства. Основные этапы изготовления ИУЭ. Электронная гигиена. Требования к параметрам воздушной среды. Чистые помещения. Одежда персонала. Технологическая тара.	0,5	1				5	Контрольный опрос
2.2	Исходные материалы и полуфабрикаты. Полупроводниковые материалы. Получение и очистка исходных материалов. Выращивание монокристаллов. Получение поликристаллических веществ и стекол. Конструкционные материалы. Химические вещества. Деионизованная вода. Газы. Техника безопасности и охрана труда при работе с веществами и материалами.	1	3		1		5	Контрольный опрос, доклад
2.3	Подготовка подложек. Подложки. Форма подложек. Ориентация слитков. Резка слитков на подложки. Кристаллографическая ориентация подложек. Маркировка. Механическая обработка подложек. Лазерное и дисковое скарибирование. Типы загрязнений на различных стадиях техпроцесса. Типовые средства очистки. Методы контроля чистоты поверхности.	1	3		0,5		5	Контрольный опрос, доклад
2.4	Эпитаксия. Классификация процессов эпитаксии. Газофазная эпитаксия. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Жидкофазная эпитаксия. Легирование растущих эпитаксиальных слоев. Эпитаксия кремния и соединений $A^3B^5$ и $A^2B^6$ . Методы контроля параметров слоев.	0,5	3		0,5		5	Контрольный опрос, доклад
2.5	Процессы формирования легированных слоев. Диффузия. Диффузенты кремниевой технологии. Ионное легирование. Источники ионов. Системы формирования и сепарации ионных пучков. Профиль распределения внедренных ионов. Радиационные дефекты. Применение отжига для активации примесей. Методы контроля глубины залегания легированных областей и профиля распределения.	0,5	1		0,5		5	Контрольный опрос, доклад
2.6	Процессы формирования диэлектрических слоев. Диэлектрические пленки в технологии ИУЭ. Методы получения пленок диоксида, нитрида, карбида и оксинитрида кремния и примесно-силикатных стекол. Термическое окисление. Плазменное окисление. Пиролитическое осаждение. Плазмохимическое осаждение. Атомно-слоевое осаждение. Золь-гель метод. Анодное окисление. Исследование	1	3		0,5		5	Контрольный опрос, доклад

	свойств диэлектрических пленок.								
2.7	Процессы формирования металлических пленок. Металлические пленки в технологии ИУЭ. Вакуумное резистивное, электронно-лучевое, магнетронное, ионное и катодное распыление. Электрохимическое осаждение.	1	3					5	Контрольный опрос, доклад
2.8	Литографические процессы. Базовые операции фотолитографии. Фоторезисты. Фотошаблоны. Контактная и проекционная фотолитография. Обратная фотолитография. Литография в жестком ультрафиолете. Электронно-лучевая литография. Рентгенолитография.	0,5	1		1			5	Контрольный опрос, доклад
2.9	Травление. Процессы химического травления. Полирующее, селективное, локальное травление. Анизотропное травление. Электрохимическая обработка поверхности. Травление кремния, диоксида кремния, нитрида кремния, поликремния, арсенида галлия, металлов. Процессы сухого травления. Механизмы ионного, ионно-химического и плазмохимического травления. Оборудование и источники ионов.	0,5	1		0,5			5	Контрольный опрос, доклад
2.10	Толстопленочная технология. Технология толстых пленок. Трафаретная печать. Резистивные, проводящие и диэлектрические пасты. Методы помола и контроля дисперсности порошка. Реологические свойства пасты. Изготовление трафаретов. Нанесение и вжигание паст. Оборудование.	1	3		0,5			4	Контрольный опрос, доклад
2.11	Технология сборки и герметизации. Основные сборочные операции. Проволочный монтаж. Непроволочный монтаж внешних выводов. Монтаж жесткими объемными выводами. Монтаж кристаллов на коммутационной плате. Соединение кристалла клеем, припоями, эвтектикой. Микросварка и микропайка. УЗ сварка. Термокомпрессия. Метод перевернутого кристалла. Типы корпусов и технология их производства. Защита от альфа-частиц. Герметизация пластмассой. Герметизация корпусов пайкой и сваркой. Герметизация полимерных и керамических корпусов. Бескорпусная герметизация. Методы контроля герметичности.	1	3		0,5			5	Контрольный опрос
	<i>Промежуточная аттестация</i>	<i>Экзамен (36 АЧ)</i>							
	<b>ИТОГО</b>	<b>14</b>	<b>42</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>36</b>	<b>88</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:

Курсовые работы не предусмотрены учебным планом.

### 5 Методические рекомендации по организации освоения учебной дисциплины

Таблица 5 - Методические рекомендации по организации лекций

№	Темы лекционных занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
<b>Раздел 1. Проектирование интегральных устройств электроники (ИУЭ)</b>		
1.	Классификация микросхем. Основные этапы развития электроники. Современное состояние электронной компонентной базы (ЭКБ). Государственные программы по развитию ЭКБ и импортозамещению. Система обозначений отечественных микросхем. Классификация микросхем. Аналоговые микросхемы. Цифровые микросхемы. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. Полупроводниковые запоминающие устройства. Микропроцессоры. Микроконтроллеры. Базовые матричные кристаллы. Системы на кристалле (информационная лекция).	0,5
2.	Конструкция биполярных микросхем. Интегральные планарно-эпитаксиальные биполярные транзисторы. Многоэмиттерные транзисторы. Многоколлекторные транзисторы. Интегральные диоды. Интегральные конденсаторы. Интегральные резисторы. Способы изоляции элементов. Коммутационные проводники. Контактные площадки. Внешние выводы микросхем. Сквозные отверстия. Вспомогательные элементы (информационная лекция).	1
3.	Конструкция полевых микросхем. Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом. Полевые транзисторы с изолированным затвором. МДП транзисторы с индуцированным каналом. МДП транзисторы со встроенным каналом. Вертикальные V-МДП транзисторы. Диффузионные полевые ДМОП транзисторы. МНОП транзисторы с двухслойным подзатворным диэлектриком. Транзисторы с плавающим затвором. Транзисторы с двойным затвором. Комплементарные КМОП транзисторы. Биполярно-полевые БиКМОП транзисторы (информационная лекция).	0,5
4.	Микросхемы на широкозонных полупроводниках ЭКБ СВЧ диапазона. Прием-передающие модули. GaAs МИС. Применение GaN и SiC (информационная лекция).	0,5
5.	Конструкция гибридных микросхемы (ГИС) и микросборок (МСБ). Особенности ГИС и МСБ. Подложки. Толстопленочные и тонкопленочные гибридные микросхемы. Пленочные резисторы, конденсаторы, индуктивности. Подгоняемые пленочные элементы. Навесные компоненты. Особенности СВЧ ГИС (информационная лекция).	1
6.	Технология сборки и монтажа. Герметизация микросхем. Влияние внешних факторов на параметры и надежность микросхем. Способы герметизации. Бескорпусная герметизация. Конструкция и классификация корпусов (информационная лекция).	1
7.	Оформление конструкторской документации (КД) на микросхемы. Основные положения ЕСКД. Комплектность КД на микросхемы. Условное графическое обозначение элементов. Схемы электрические. Топологические чертежи. Сборочные чертежи. Спецификация. Маркировка. Упаковка (информационная лекция).	1
<b>Раздел 2. Технология ИУЭ</b>		
8.	Общая характеристика технологии производства. Основные этапы изготовления ИУЭ. Электронная гигиена. Требования к параметрам воздушной среды. Чистые помещения. Одежда персонала. Технологическая тара (информационная лекция).	0,5
9.	Исходные материалы и полуфабрикаты. Полупроводниковые материалы. Получение и очистка исходных материалов. Выращивание монокристаллов. Получение поликристаллических веществ и стекол.	1

	Конструкционные материалы. Химические вещества. Деионизованная вода. Газы. Техника безопасности и охрана труда при работе с веществами и материалами (информационная лекция).	
10.	Подготовка подложек. Подложки. Форма подложек. Ориентация слитков. Резка слитков на подложки. Кристаллографическая ориентация подложек. Маркировка. Механическая обработка подложек. Лазерное и дисковое скрайбирование. Типы загрязнений на различных стадиях техпроцесса. Типовые средства очистки. Методы контроля чистоты поверхности (информационная лекция).	1
11.	Эпитаксия. Классификация процессов эпитаксии. Газофазная эпитаксия. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Жидкофазная эпитаксия. Легирование растущих эпитаксиальных слоев. Эпитаксия кремния и соединений $A^3B^5$ и $A^2B^6$ . Методы контроля параметров слоев (информационная лекция).	0,5
12.	Процессы формирования легированных слоев. Диффузия. Диффузенты кремниевой технологии. Ионное легирование. Источники ионов. Системы формирования и сепарации ионных пучков. Профиль распределения внедренных ионов. Радиационные дефекты. Применение отжига для активации примесей. Методы контроля глубины залегания легированных областей и профиля распределения (информационная лекция).	0,5
13.	Процессы формирования диэлектрических слоев. Диэлектрические пленки в технологии ИУЭ. Методы получения пленок диоксида, нитрида, карбида и оксинитрида кремния и примесно-силикатных стекол. Термическое окисление. Плазменное окисление. Пиролитическое осаждение. Плазмохимическое осаждение. Атомно-слоевое осаждение. Золь-гель метод. Анодное окисление. Исследование свойств диэлектрических пленок (информационная лекция).	1
14.	Процессы формирования металлических пленок. Металлические пленки в технологии ИУЭ. Вакуумное резистивное, электронно-лучевое, магнетронное, ионное и катодное распыление. Электрохимическое осаждение (информационная лекция).	1
15.	Литографические процессы. Базовые операции фотолитографии. Фоторезисты. Фотошаблоны. Контактная и проекционная фотолитография. Обратная фотолитография. Литография в жестком ультрафиолете. Электронно-лучевая литография. Рентгенолитография (информационная лекция).	0,5
16.	Травление. Процессы химического травления. Полирующее, селективное, локальное травление. Анизотропное травление. Электрохимическая обработка поверхности. Травление кремния, диоксида кремния, нитрида кремния, поликремния, арсенида галлия, металлов. Процессы сухого травления. Механизмы ионного, ионно-химического и плазмохимического травления. Оборудование и источники ионов (информационная лекция).	0,5
17.	Толсто пленочная технология. Технология толстых пленок. Трафаретная печать. Резистивные, проводящие и диэлектрические пасты. Методы помола и контроля дисперсности порошка. Реологические свойства пасты. Изготовление трафаретов. Нанесение и вжигание паст. Оборудование (информационная лекция).	1
18.	Технология сборки и герметизации. Основные сборочные операции. Проволочный монтаж. Непроволочный монтаж внешних выводов. Монтаж жесткими объемными выводами. Монтаж кристаллов на коммутационной плате. Соединение кристалла клеем, припоями, эвтектикой. Микросварка и микропайка. УЗ сварка. Термокомпрессия. Метод перевернутого кристалла. Типы корпусов и технология их производства. Защита от альфа-частиц. Герметизация пластмассой. Герметизация корпусов пайкой и сваркой. Герметизация полимерных и керамических корпусов. Бескорпусная герметизация. Методы контроля герметичности (информационная лекция).	1
	<b>ИТОГО</b>	<b>14</b>

Таблица 6 - Методические рекомендации по организации практических занятий

№	Темы практических занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
<b>Раздел 1. Проектирование интегральных устройств электроники (ИУЭ)</b>		
1.	Классификация микросхем (проблемный семинар)	3
2.	Конструкция биполярных микросхем (презентация и обсуждение доклада)	3
3.	Конструкция полевых микросхем (презентация и обсуждение доклада)	1
4.	Микросхемы на широкозонных полупроводниках ЭКБ СВЧ диапазона (презентация и обсуждение доклада)	1
5.	Конструкция гибридных микросхемы (ГИС) и микросборок (МСБ) (презентация и обсуждение доклада)	3
6.	Технология сборки и монтажа. Герметизация микросхем (презентация и обсуждение доклада)	3
7.	Оформление конструкторской документации (КД) на микросхемы (проблемный семинар)	3
<b>Раздел 2. Технология ИУЭ</b>		
8.	Общая характеристика технологии производства (проблемный семинар)	1
9.	Исходные материалы и полуфабрикаты (презентация и обсуждение доклада)	3
10.	Подготовка подложек (презентация и обсуждение доклада)	3
11.	Эпитаксия (презентация и обсуждение доклада)	3
12.	Процессы формирования легированных слоев (презентация и обсуждение доклада)	1
13.	Процессы формирования диэлектрических слоев (презентация и обсуждение доклада)	3
14.	Процессы формирования металлических пленок (презентация и обсуждение доклада)	3
15.	Литографические процессы (презентация и обсуждение доклада)	1
16.	Травление (презентация и обсуждение доклада)	1
17.	Толстопленочная технология (презентация и обсуждение доклада)	3
18.	Технология сборки и герметизации (проблемный семинар)	3
	<b>ИТОГО</b>	<b>42</b>

*Рекомендации к проведению лекционных занятий.*

Теоретическая часть учебной дисциплины направлена на формирование системы знаний о физических явлениях и эффектах, определяющих принципы действия основных приборов интегральной электроники и технологии их изготовления. Основное содержание теоретической части излагается преподавателем на лекционных занятиях, а также усваивается студентом при знакомстве с дополнительной литературой, которая предназначена для более глубокого овладения знаниями соответствующего раздела.

Как правило, в начале лекции проводится контрольный опрос (не более 15 мин.) для экспресс-оценки уровня усвоения теоретического материала студентами. Контрольный опрос состоит из закрытых вопросов.

*Рекомендации к проведению практических занятий.*

**1) Проблемный семинар**

а) Тема семинара: Классификация микросхем

Возможные вопросы для обсуждения проблемы:

- Аналоговые микросхемы;
- Цифровые микросхемы;
- Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи);
- Полупроводниковые запоминающие устройства;
- Микропроцессоры;
- Микроконтроллеры;
- Базовые матричные кристаллы;
- Системы на кристалле.

б) Тема семинара: Оформление конструкторской документации (КД) на микросхемы.

Возможные вопросы для обсуждения проблемы:

- Основные положения ЕСКД);
- Комплектность КД на микросхемы;
- Условное графическое обозначение элементов;
- Схемы электрические;
- Топологические чертежи;
- Сборочные чертежи;
- Спецификация;
- Маркировка;
- Упаковка.

в) Тема семинара: Общая характеристика технологии производства.

Возможные вопросы для обсуждения проблемы:

- Основные этапы изготовления ИУЭ;
- Электронная гигиена;
- Требования к параметрам воздушной среды;
- Чистые помещения;
- Одежда персонала;
- Технологическая тара.

г) Тема семинара: Технология сборки и герметизации.

Возможные вопросы для обсуждения проблемы:

- Основные сборочные операции;
- Проволочный монтаж;
- Непроволочный монтаж внешних выводов;
- Монтаж жесткими объемными выводами;
- Монтаж кристаллов на коммутационной плате;
- Соединение кристалла клеем, припоями, эвтектикой;
- Микросварка и микропайка;
- УЗ сварка;
- Термокомпрессия;
- Метод перевернутого кристалла;
- Типы корпусов и технология их производства;
- Защита от альфа-частиц;
- Герметизация пластмассой;
- Герметизация корпусов пайкой и сваркой;
- Герметизация полимерных и керамических корпусов;
- Бескорпусная герметизация;
- Методы контроля герметичности.

**2) Презентация и обсуждение доклада**

Цель: закрепление у обучающихся знаний, полученных по темам из разделов №1 и №2: 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17. Обсуждение рекомендуется проводить путем сочетания дискуссии с групповой консультацией. Для этого требуется организация пространства, чтобы участники могли полноправно участвовать в обсуждении рассматриваемых вопросов. Предварительно следует сформулировать задание обучающимся для самостоятельной подготовки, выработать вопросы для обсуждения по предлагаемой теме, определить количество докладчиков. Студентам рекомендуется использовать презентационные материалы для наглядного изложения материала.

## 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 обеспечения учебной дисциплины (модуля) представлено в Приложении Б.

### 7.2 Материально-техническое обеспечение

Таблица 7 - Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

№	Требование к материально-техническому обеспечению согласно ФГОС ВО	Наличие материально-технического оборудования и программного обеспечения	
1.	Учебные аудитории для проведения учебных занятий	компьютерный класс с выходом в Интернет, в том числе для проведения практических занятий	
		помещение для самостоятельной работы (наличие компьютера, выход в Интернет)	
2.	Мультимедийное оборудование	- ПК с подключением к Интернет: Сист. блок Intel ® Pentium ® CPU G3240 @3.10 GHz, 465Gb, монитор 21" Проектор Benq MW 526 DLP (1 шт.) Экран настенный Digis Optimal-C (1 шт.)	
3.	Программное обеспечение		
	<b>Наименование программного продукта</b>	<b>Обоснование для использования (лицензия, договор, счёт, акт или иное)</b>	<b>Дата выдачи</b>
	Microsoft Imagine (Microsoft Azure Dev Tools for Teaching) Standard	Договор №243/ю, 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	19.12.2018
	Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition. 500-999. Node 1 year Educational Renewal License *	Договор №148/ЕП(У)20-ВБ, 1С1С-200914-092322-497-674	11.09.2020
	Антиплагиат. Вуз.*	Договор №3341/12/ЕП(У)21-ВБ	29.01.2021
	Zoom	Договор №363/20/90/ЕП(У)20-ВБ	04.06.2020
	Подписка Microsoft Office 365	свободно распространяемое для вузов	-
	Adobe Acrobat	свободно распространяемое	-
	Teams	свободно распространяемое	-
	Skype	свободно распространяемое	-
	Zoom	свободно распространяемое	-

Приложение А  
(обязательное)  
**Фонд оценочных средств**  
**учебной дисциплины «Устройства интегральной электроники»**

### 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 (вопросы к контрольной работе, коллоквиуму 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.	Контрольный опрос	Все темы разделов 1и 2	18 x 10 Всего 180 10/8/6 (отлично/ хорошо/ удовлетв.)	ПК-2, ПК-3
2.	Доклад	Темы: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Полупроводниковые материалы;</li> <li>• Механическая обработка подложек;</li> <li>• Газофазная эпитаксия;</li> <li>• Ионное легирование;</li> <li>• Термическое окисление;</li> <li>• Золь-гель метод;</li> <li>• Магнетронное распыление.</li> </ul>	Всего 70 70/60/50 (отлично/ хорошо/ удовлетв.)	
<i>Промежуточная аттестация</i>				
	Экзамен		50	
	<b>ИТОГО</b>		<b>300</b>	

### 3 Рекомендации к использованию оценочных средств

Таблица А.2 - Контрольный опрос

Критерии оценки	Количество вариантов заданий	Количество вопросов
Количество правильных ответов	2 варианта	по 10 вопросов в комплекте

Примеры вопросов:

- а) Классификация микросхем;
- б) Интегральные конденсаторы;
- в) Герметизация микросхем;
- г) Базовые операции фотолитографии;
- д) Технология толстых пленок;
- е) Плазменное окисление.

Таблица А.3 - Доклад

Критерии оценки	Количество вариантов заданий
Логичная структура доклада, наличие выводов	10 вариантов
Анализ темы	
Самостоятельность, оригинальность при подготовке доклада	
Использование современных знаний, фактов, теорий	

Примерные темы для докладов:

- Полупроводниковые материалы;
- Механическая обработка подложек;
- Газофазная эпитаксия;
- Ионное легирование;
- Термическое окисление;
- Золь-гель метод;
- Магнетронное распыление;
- Контактная и проекционная фотолитография;
- Механизмы ионного, ионно-химического и плазмохимического травления.

Таблица А.4 - Экзамен

Критерии оценки	Количество вариантов заданий	Количество вопросов
Количество правильных ответов	20	по 2 вопроса в билете
Полнота изложения и наличие примеров в ответе		
Наличие модельно-ориентированного ядра в ответе		

Экзамен состоит из теоретической части и представляет собой два вопроса.

Вопросы к экзамену:

1. Основные этапы развития электроники. Особенности современной электроники.
2. Классификация и система обозначения интегральных схем (ИС).
3. Аналоговые ИС.
4. Аналогово-цифровые преобразователи и цифро-аналоговые преобразователи.
5. Цифровые ИС.
6. Полупроводниковые запоминающие устройства. ОЗУ. ПЗУ.

7. Транзистор как базовый элемент интегральных схем. Биполярный n-p-n транзистор. Многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторы.
8. Транзистор как базовый элемент интегральных схем. Биполярный p-n-p транзистор. Многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторы.
9. Полевые транзисторы с управляющим p-n переходом.
10. МОП транзисторы с индуцированным каналом.
11. МОП транзисторы со встроенным каналом.
12. Вертикальные V-МДП транзисторы. ДМОП транзисторы.
13. МНОП транзисторы. МДП транзисторы на диэлектрической подложке.
14. Транзисторы с плавающим затвором. Транзисторы с двумя затворами.
15. Комплементарные КМОП транзисторы. БиКМОП транзисторы.
16. Интегральные диоды.
17. Интегральные резисторы.
18. Интегральные конденсаторы.
19. Способы изоляции элементов интегральных схем.
20. Коммутационные проводники, контактные площадки и внешние выводы ИС.
21. Гибридные интегральные схемы (ГИС). Подложки.
22. Конструкция и характеристики пленочных резисторов.
23. Конструкция и характеристики пленочных конденсаторов.
24. Конструкция и монтаж навесных компонентов. Проволочный монтаж.
25. Типы и классификация корпусов ИС.
26. Основные этапы изготовления ИУЭ. Электронная гигиена.
27. Выращивание монокристаллов. Ориентация слитков. Резка слитков на подложки.
28. Получение поликристаллических веществ и стекол.
29. Химические вещества в технологии ИУЭ.  
Техника безопасности и охрана труда при работе с веществами и материалами.
30. Подложки. Форма. Маркировка.
31. Механическая обработка подложек. Шлифовка. Полировка.
32. Лазерное и дисковое скайбирование пластин.
33. Процессы эпитаксии.
34. Диффузия. Диффузанты кремниевой технологии.
35. Ионное легирование.
36. Диэлектрические пленки в технологии ИУЭ.  
Методы получения, исследование свойств.
37. Металлические пленки в технологии ИУЭ.  
Методы получения, исследование свойств.
38. Базовые операции фотолитографии. Фоторезисты. Фотошаблоны.
39. Контактная и проекционная фотолитография.  
Обратная фотолитография. Электронно-лучевая литография.
40. Жидкостное травление. Анизотропное травление.
41. Процессы сухого травления.
42. Технология толстых пленок. Трафаретная печать.
43. Монтаж кристаллов на коммутационной плате. Проволочный монтаж.
44. Микросварка и микропайка.
45. Герметизация пластмассой. Корпусирование. Бескорпусная герметизация.

Комплект экзаменационных билетов представлен в закрытой части ФОС (хранится на кафедре).

Пример экзаменационного билета:

**Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого**  
**Кафедра проектирования и технологии радиоаппаратуры**

**Экзаменационный билет № 1**

Учебная дисциплина (модуль) Устройства интегральной электроники  
Для направления подготовки (специальности) 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

1. Основные этапы развития электроники. Классификация и система обозначения интегральных схем (ИС).
2. Основные этапы изготовления ИУЭ. Электронная гигиена.

Принято на заседании кафедры «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. Протокол № \_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ (Бичурин М.И.)

Все материалы для проведения промежуточного контроля хранятся на кафедре.

Приложение Б  
(обязательное)

**Карта учебно-методического обеспечения  
учебной дисциплины «Устройства интегральной электроники»**

Таблица Б.1 – Основная литература\*

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1. Коледов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Лань, 2008.-398 с.	30	
2. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника : полный курс : учеб. для вузов. - М. : Горячая линия-Телеком, 2005. - 768с.	30	
3. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры. Учебник для вузов / Под общ. ред. В.А. Шахнова. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. - 568 с.	15	
4. Щука А.А. Электроника: Учебное пособие / Под ред. А.С. Сигова - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 800 с.	15	
Электронные ресурсы		
1 Медведев А.М. Сборка и монтаж электронных устройств. М.: Техносфера, 2007. – 256 с.		Режим доступа: <a href="http://www.vipbook.su/tehnika/elektronika/">http://www.vipbook.su/tehnika/elektronika/...</a>

Таблица Б.2 – Дополнительная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1. Меркулов А.И. Основы конструирования интегральных микросхем: учеб. для студентов вузов / А.И. Меркулов, В.А. Меркулов. - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2013. - 270с.		
2. Шишкин Г.Г. Электроника: учеб. для вузов / Г.Г. Шишкин, А.Г. Шишкин - М.: Дрофа, 2009. - 703 с.		
3. Шутов Д.А., Ситанов Д.В. Процессы микро- и нанотехнологий: Лабораторный практикум. Ч. 1 / Иван. гос. хим.-технол. ун-т. - Иваново, 2006. - 141 с.		
4. Шутов Д.А., Ситанов Д.В. Процессы микро- и нанотехнологий: Лабораторный практикум. Ч. 2 / Иван. гос. хим.-технол. ун-т. - Иваново, 2006. - 141 с.		
5. Щука А.А. Функциональная электроника: Учебник для вузов. - М.: МИРЭА, 1998. - 259 с.		
6. Рычина Т.А., Зеленский А.В. Устройства функциональной электроники и электрорадиоэлементы. - М.: Радио и связь, 1999. - 352с.		

7. Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Бичурин М.И., Семенов Г.А., Аверкин С.В. Физические принципы работы и проектирование акустоэлектронных устройств обработки информации: монография / НовГУ имени Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2009. - 107 с.		
8. Морган Д. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1990. - 416 с.		
9. Вонсовский С.В. Магнетизм. Магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро-, и ферримагнетиков. - М.: Наука, 1971. - 1032 с.		
10. Гуревич А.Г., Мелков Г.А. Магнитные колебания и волны. - М.: Физматлит, 1994. - 464 с		
11. Игнатов А. Н. Оптоэлектроника и нанофотоника : учеб. пособие для вузов / А. Н. Игнатов. - СПб: Лань, 2011. – 538 с.		
Электронные ресурсы		

Таблица Б.3– Информационное обеспечение

Наименование ресурса	Договор	Срок договора
<b>Профессиональные базы данных</b>		
База данных электронной библиотечной системы вуза «Электронный читальный зал-БиблиоТех» <a href="https://www.novsu.ru/dept/1114/bibliotech/">https://www.novsu.ru/dept/1114/bibliotech/</a>	Договор № БТ-46/11 от 17.12.2014	бессрочный
Электронный каталог научной библиотеки <a href="http://mars.novsu.ac.ru/MarcWeb/">http://mars.novsu.ac.ru/MarcWeb/</a>	База собственной генерации	бессрочный
База данных «Аналитика» (картотека статей) <a href="http://mars.novsu.ac.ru/MarcWeb/">http://mars.novsu.ac.ru/MarcWeb/</a>	База собственной генерации	бессрочный
Президентская библиотека им. Б. Н. Ельцина <a href="https://www.prlib.ru/">https://www.prlib.ru/</a>	в открытом доступе	-
База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU <a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>	в открытом доступе	-
Национальная подписка в рамках проекта Министерства образования и науки РФ (Госзадание № 4/2017 г.) к наукометрическим БД Scopus и WebofScience <a href="https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search">https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search</a> <a href="https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic">https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic</a>	регистрация (территория вуза)	2022
База данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ <a href="http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/">http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/</a>	в открытом доступе	-
База данных электронно-библиотечной системы «Национальная электронная библиотека» <a href="https://нэб.рф">https://нэб.рф</a>	в открытом доступе	-
<b>Информационные справочные системы</b>		
Университетская информационная система «РОССИЯ» <a href="https://uisrussia.msu.ru">https://uisrussia.msu.ru</a>	в открытом доступе	-
Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» <a href="https://openedu.ru">https://openedu.ru</a>	в открытом доступе	-

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ /М.И. Бичурин/  
подпись И.О. Фамилия  
 « 22 » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Новгородский государственный  
 университет им. Ярослава Мудрого  
 Научная библиотека  
 Сектор учета *Каш*

Приложение В  
(обязательное)

**Лист актуализации рабочей программы  
учебной дисциплины «Устройства интегральной электроники»**

Рабочая программа актуализирована на 20\_\_/20\_\_ учебный год.  
 Протокол № \_\_ заседания кафедры от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
 Разработчик: Г.А. Семёнов \_\_\_\_\_  
 Зав. кафедрой: М.И. Бичурин \_\_\_\_\_

Рабочая программа актуализирована на 20\_\_/20\_\_ учебный год.  
 Протокол № \_\_ заседания кафедры от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
 Разработчик: Г.А. Семёнов \_\_\_\_\_  
 Зав. кафедрой: М.И. Бичурин \_\_\_\_\_

Рабочая программа актуализирована на 20\_\_/20\_\_ учебный год.  
 Протокол № \_\_ заседания кафедры от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
 Разработчик: Г.А. Семёнов \_\_\_\_\_  
 Зав. кафедрой: М.И. Бичурин \_\_\_\_\_

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

Номер изменения	№ и дата протокола заседания кафедры	Содержание изменений	Зав.кафедрой	Подпись