

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
учреждения образования «Белорусский
государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

_____ В.А.Рыбак

23.03.2023

Регистрационный № УД-4-1800/уч.

«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ»

**Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине
для специальности**

1-41 01 03 Квантовые информационные системы

2023 г.

Учебная программа учреждения образования составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-41 01 03-2021 и учебного плана специальности 1-41 01 03 Квантовые информационные системы.

СОСТАВИТЕЛИ:

Е.А.Уткина, доцент кафедры микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», кандидат технических наук, доцент;

О.М.Чернаусик, ассистент кафедры микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»;

В.В.Шульгов, старший преподаватель кафедры микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Кафедра защиты информации учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 15 от 16.02.2023);

А.А.Ходин, ведущий научный сотрудник государственного научно-производственного объединения «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» Национальной академии наук Беларуси, кандидат физико-математических наук.

РАССМОТРЕНА И РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 7 от 26.12.2022);

Научно-методическим советом учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (протокол № 7 от 17.03.2023)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа рассчитана на 518 учебных часов (14 з.е.)

План учебной дисциплины в дневной форме получения образования:

Код специальности	Название специальности	Курс	Семестр	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УО)				Академ. часов на	Форма промежуточной аттестации
				Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия		
1-41 01 03	Квантовые информационные системы	2	4	92	64	28	-	-	Экзамен
		3	5	128	64	48	16	40	Экзамен
				220	128	76	16	40	

Место учебной дисциплины.

Учебная дисциплина «Технологические процессы микроэлектроники» является базовой для изучения реальных современных технологических процессов в производстве интегральных микросхем и получения профессиональных знаний студентами специальности 1-41 01 03 «Квантовые информационные системы».

Воспитательное значение учебной дисциплины «Технологические процессы микроэлектроники» заключается в формировании у обучающихся математической культуры и научного мировоззрения; развитии исследовательских умений, аналитических способностей, креативности, необходимых для решения научных и практических задач; развитии познавательных способностей и активности: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности; формировании способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации. Изучение данной учебной дисциплины способствует созданию условий для формирования интеллектуально развитой личности обучающегося, которой присущи стремление к профессиональному совершенствованию, активному участию в экономической и социально-культурной жизни страны, гражданская ответственность и патриотизм.

Цель преподавания учебной дисциплины: изучение основных (базовых) технологических процессов изготовления изделий микроэлектроники и оптоэлектроники, включая наноэлементы и микроэлектромеханические системы, формирование знаний и навыков конструкторско-технологического проектирования элементов интегральных микросхем (ИМС) для различных схемотехнических решений.

Задачи изучения учебной дисциплины:

освоение физических закономерностей, лежащих в основе способов создания технологических слоев;

освоение современных методик анализа технологических процессов;

изучение технологических и производственных маршрутов создания изделий микро- и нанoeлектроники, принципов высокоэффективного проектирования элементов ИС;

освоение технологических маршрутов изготовления биполярных, КМОП, БиКМОП, и других микросхем, а также гибридных микросборок и многокристальных модулей.

В результате изучения учебной дисциплины «Технологические процессы микроэлектроники» формируются следующие компетенции:

универсальные:

владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации;

обладать навыками саморазвития и самосовершенствования в профессиональной деятельности;

проявлять инициативу и адаптироваться к изменениям в профессиональной деятельности;

базовая профессиональная:

применять физико-химические основы технологий для изготовления и моделирования полупроводниковых интегральных микросхем.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

основные физико-химические закономерности, лежащие в основе конкретного техпроцесса;

основные технологические приемы формирования технологического слоя;

кристаллозаготовку, химическую подготовку и обработку пластин и технологических слоев;

способы создания полупроводниковых, диэлектрических и металлических пленок;

методы фото- и микролитографии;

ионно-плазменные процессы размерной обработки технологических слоев;

общие закономерности проектирования технологических маршрутов изготовления микросхем;

методы контроля и анализа элементов микросхем в процессе их формирования;

принципы построения современных микроэлектронных устройств;

конструктивно-технологические особенности изготовления гибридных микросборок и многокристальных модулей;

уметь:

характеризовать качество проведенного технологического процесса; уровень маршрутной технологии изготовления различных элементов микросхем;

характеризовать роль и проблемы проектирования маршрутной технологии изготовления интегральных микросхем (ИС), а также используемые для изготовления микроэлектронных устройств элементную базу и материалы;

выбирать наиболее эффективные и экономичные варианты технологического маршрута;

анализировать маршрутную технологию изготовления микросхем по технико-экономическим характеристикам базовых технологических процессов;

анализировать структуру элементов микросхем в процессе её формирования; преимущества, недостатки и ограничения существующих конструктивно-технологических вариантов изготовления многокристальных модулей и микросборок с поверхностным монтажом компонентов;

анализировать технологический процесс сборки микроэлектронных устройств по выбранному показателю качества;

владеть:

навыками анализа технологических процессов по результатам контроля параметров элементов микросхем на тестовых структурах;

методами проектирования технологических маршрутов изготовления микросхем на биполярных, КМОП, *n*-МОП, БиКМОП элементах;

способностью проектирования технологических маршрутов изготовления многокристальных модулей и изделий с поверхностным монтажом компонентов;

методиками формирования физико-математических моделей, применяемых в проектировании технологических процессах;

методиками проектирования технологических маршрутов изготовления интегральных микросхем;

навыками работы с конструкторско-технологической документацией.

Перечень учебных дисциплин, усвоение которых необходимо
для изучения данной учебной дисциплины.

№ п.п.	Название дисциплины	Раздел, темы
1	Математический анализ	Производная функции. Правила дифференцирования; Дифференциал функции. Производные и дифференциалы высших порядков; Неопределенный интеграл; Интегрирование функций; Определенный интеграл; Вычисление определенного интеграла; Дифференциальные уравнения первого порядка.
2	Физика твердого тела	В полном объеме
3	Материалы и компоненты электронной техники	В полном объеме
4	Физическая химия	В полном объеме

1. Содержание учебной дисциплины

№ темы	Наименование разделов, тем	Содержание тем
4 семестр		
Часть 1. Основы кремниевой технологии		
Раздел 1. Контроль качества полупроводниковых материалов и чистоты химических реактивов		
1.	Введение	Основные технологические принципы, техническая идеология производственных процессов, структура предприятия-изготовителя микроэлектронных изделий, требования к производственному процессу и инфраструктуре предприятия.
2.	Требования, предъявляемые к кремнию	Наличие дефектов, концентрация дислокаций; кристаллографическая ориентация; клиновидность, разброс по толщине; время жизни неравновесных носителей заряда, диффузионная длина и скорость поверхностной рекомбинации.
3.	Чистые помещения	Требования к температуре, влажности и запыленности производственных помещений. Принципы построения чистых помещений и виды вентиляции. Разделение помещений по классам чистоты. Принципы размещения оборудования в чистых комнатах.
Раздел 2. Подготовка подложек		
4.	Методы исходной обработки подложек	Особенности и виды резки слитка на пластины. Используемые абразивные материалы. Понятие механически поврежденного слоя. Принципы, лежащие в основе операции шлифовки. Оборудование для одно- и двухсторонней шлифовки. Этап полировки подложек. Полировка связанным и свободным абразивом. Отличительные особенности шлифовки и полировки. Методы разделения подложек на кристаллы. Методы резка пластин на чипы: скрайбирование, лазерная обработка. Требования к шероховатости поверхности, толщине, клиновидности, стреле прогиба.
5.	Химико-механическое полирование или планаризация подложек	Химико-механическое полирование как гибридный процесс химического травления и обработки свободным абразивом. Стадии химико-механического полирования. Рабочие жидкости для химико-механического полирования. Скорость полирования и усилие прижатия. Модели химико-механического полирования. Растворение поверхностного слоя под нагрузкой.
Раздел 3. Очистка поверхности подложек от загрязнений		
6.	Типы загрязнений поверхности подложек	Физические или механические, молекулярные, ионные, атомные. Типы взаимодействия загрязнений с поверхностью. Источники поверхностных загрязнений и их классификация. Принципы очистки воды, степени очистки. Чистота химических реактивов. Физические и химические методы интенсификации очистки подложек. Гидромеханическая отмывка пластин. Поверхностно-активные вещества и комплексообразователи.
7.	Удаление жировых загрязнений	Источники жировых загрязнений. Механизм обезжиривания в щелочных растворах. Применяемые реактивы. Омыление и эмульгирование. Растворители для обезжиривания. Обезжиривание в парах спиртов. Недостатки обезжиривания в органических растворителях. Обработка подложек с помощью смеси Коро.

№ темы	Наименование разделов, тем	Содержание тем
		Перекисно-аммиачная обработка.
8.	Химические методы очистки поверхности подложек	Очистка поверхности от оксидных слоев. Кислотные травители: составы, механизм травления. Щелочные травители: составы, механизм травления. Химическая и электрохимическая теории саморастворения полупроводниковых материалов. Кинетика травления кремния. Электрохимическая теория. Факторы, влияющие на скорость травления. Разновидности травления. Селективные травители. Изотропное и анизотропное травление. Локальное травление.
9.	Отмывка поверхности после химической очистки	Методы получения дистиллированной и деионизованной воды. Метод дистилляции. Ионно-обменные колонны и их очистка. Электропроводность дистиллированной и деионизованной воды. Транспортировка и способы хранения. Каскадные процессы отмывки подложек. Отмывка, в парах воды. Интенсификации процесса отмывки: температура, перемешивание, ультразвук. Обеззараживание воды от грибков в ультрафиолете.
10.	Сушка пластин	Методы сушки пластин. Центрифугирование. Сушка горячим воздухом и азотом. Сушка Марангони. Механизм сушки Марангони. Основные физико-химические принципы сушки. Предупреждение неконтролируемого окисления поверхности. Оборудование, технологические режимы, контроль качества.
Раздел 4. Процессы создания технологического слоя		
11.	Высокотемпературное окисление кремния	Механизм роста и кинетика окисления. Модель Дила-Гроува окисления кремния. Окисление в сухом кислороде. Окисление во влажном кислороде и парах воды. Линейный и параболический законы окисления. Влияние ориентации на скорость окисления. Окисление в последовательности «сухой–влажный–сухой кислород». Основные требования к компонентам окислительной атмосферы. Влияние добавок хлора и фтора. Локальное окисление. Контроль параметров окисного слоя: толщина, пористость, плотность, структура, электросопротивление, диэлектрические потери. Основное оборудование термического окисления: печи косвенного нагрева, индукционные и ИК-печи, вертикальные и горизонтальные печи, печи групповой и индивидуальной тепловой обработки, система газонапуска, система удаления продуктов реакции.
12.	Высокотемпературная диффузия	Модели диффузии в твердом теле. Законы Фика. Коэффициент диффузии, его температурная зависимость. Источники легирующей примеси: жидкие и твердые. Преимущества и недостатки. Диффузия в потоке газа-носителя. Расчет концентрации и скорости газа-носителя. Диффузия из твердого источника. Диффузия из ограниченного источника. Диффузия из бесконечного источника. Определение профиля распределения примеси по глубине. Загонка и разгонка внедренной примеси. Предельная концентрация легирующей примеси. Определение глубины залегания p-n-перехода. Поверхностное сопротивление. Диффузия в диоксиде кремния. Использование диоксида кремния в качестве маски при локальной диффузии.
13.	Ионное	Физические основы ионного легирования. Каналирование. Явление

№ темы	Наименование разделов, тем	Содержание тем
	легирование имплантация -	аморфизации, доза аморфизации. Средний полный и средний нормальный пробег. Радиус экранирования. Принцип действия и конструкция ионно-лучевого ускорителя. Структурные элементы установки ионного легирования. Источники ионов. Массепаратор. Блок ускорения ионов. Система формирования и экстракции ионного луча. Режимы ионной имплантации. Доза облучения. Концентрация легирующей примеси. Геттерирование. Преимущества метода ионного легирования. Основные дефекты структуры, определяемые процессом ионного легирования. Отжиг ионно-имплантированных слоев. Назначение отжига. Автолегирование. Методы расчета ионно-имплантированных структур. Расчет распределения концентрации примеси в двухслойных структурах. Определение режимов ионного легирования. Расчет энергии ионов для получения заданного пробега. Расчет дозы облучения. Методы контроля ионно-имплантированных структур.
14	Газофазная и молекулярно-лучевая эпитаксия	Разновидности и методы эпитаксии. Технологические особенности газофазной эпитаксии кремния. Хлоридный метод эпитаксии кремния. Особенности, химические реакции. Гидридный метод эпитаксии кремния. Основные химические реакции. Преимущества и недостатки. Горизонтальные и вертикальные реакторы. Дефекты в эпитаксиальных структурах. Методы контроля эпитаксиальных слоев. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Основы метода осаждения, характеристики слоев. Оборудование, основные структурные элементы. Назначение метода молекулярно-лучевой эпитаксии. Метод сублимации.
15.	Химическое осаждение пленок из парогазовой фазы (CVD-процессы)	Основы метода CVD. Разновидности метода CVD. Осаждение пленок при нормальном и низком давлении (APCVD, LPCVD). Активация CVD-процессов с помощью плазменного разряда и лазера (PECVD, LECVD). Исходные материалы (прекурсоры) для формирования слоев различного состава. Элементорганические соединения. Тетраэтоксисилан, свойства, механизм разложения. Конструкции реакционной камеры. Основные схемы CVD-реакторов по способу термического нагрева: вертикальный, горизонтальный, колоколообразный. Нагрев с помощью плазменного разряда. Сравнительная оценка свойств пленок, полученных различными методами CVD. Новые технологии осаждения. Пленки нитрида кремния. Основы метода MOCVD.
16.	Физическое осаждение паровой фазы из	Основные методы вакуумного испарения. Термическое испарение, электронно-лучевое испарение, реактивное испарение. Основные устройства создания вакуумной среды: механические насосы, паромасляные, сорбционные, криогенные, турбомолекулярные, спиральные насосы. Основные элементы контроля вакуума: тепловые и ионизационные вакуумметры, магниторазрядные вакуумметры. Конструктивные особенности вакуумной установки. Устройство вакуумной камеры. Типы испарителей. Устройства контроля толщины осаждаемых пленок: лазерный интерферометр, кварцевый резонатор. Испарение сплавов. Парциальное давление

№ темы	Наименование разделов, тем	Содержание тем
		паров над расплавом. Правило Рауля. Конденсация пара на подложке. Процесс сублимации.
17.	Физическое осаждение распылением	Базовые физические принципы формирования различных разрядов в вакууме и особенности их технологического применения в распылительных системах. Основные методы распыления: высокочастотное диодное, триодное; магнетронное на постоянном токе, импульсное, высокочастотное; ионно-лучевое распыление. Катодное распыление. Механизм распыления. Ионно-плазменное распыление. Плазмохимическое распыление. Реактивные процессы формирования высококачественных бинарных и тройных соединений. Контроль качества функциональных слоев.
Раздел 5. Микролитография		
18.	Технология формирования рисунка технологических слоев	Фотолитография. Контактная фотолитография. Общие принципы переноса микрорисунка на фоточувствительный слой. Основные термины и определения: актиничный слой, фоторезист, фотошаблон, оригинал, промежуточный шаблон, рабочий шаблон, комплект шаблонов. Позитивный и негативный фоторезисты. Состав фоторезиста. Разрешающая способность фоторезистов. Основные способы нанесения фоторезиста: окунанием, распылением, накаткой, центрифугированием, распылением в вакууме, пленки Ленгмюра, «сухой» фоторезист. Адгезия фоторезиста к подложке. Мягкая термообработка фоторезиста. Экспонирование фоторезиста. Дальний и ближний ультрафиолет. Эффекты дифракции на краю маски, размытость рисунка, разрешающая способность. Химическое проявление фоторезиста. Жесткая термообработка проявленного фоторезиста, изменение профиля проявления. Грунтовочный и адгезионный подслои. Жидкостное и плазменное удаление фоторезиста. «Взрывная» фотолитография. Назначение и ограничения. Оптический контроль топологии фотомаски. Фотолитография на микрозоре. Проекционная оптическая фотолитография. Дефекты фотолитографического процесса.
19.	Фотошаблоны и технология их изготовления	Типы фотошаблонов. Структура металлизированного фотошаблона. «Цветной» (железоокисный) фотошаблон. Этапы и принципы изготовления фотошаблонов. Формирование рисунка фотошаблона. Подготовка подложки к нанесению хрома. Обеспечение адгезии пленки хрома на стекле. Эффект зеркального переотражения и «матирование» поверхности хрома. Проведение литографии по пленке хрома. Методы изготовления оригинала: фотонаборный, «прямым рисованием» электронным лучом. Методы мультиплицирования оригинала: фотоповторителем, растровой оптикой. Создание рабочих копий фотошаблона.
20.	Микролитография	Электронно-лучевая литография. Электронные резисты. Полиметилметаакрил (ПММА) в качестве электронорезиста. Способы нанесения ПММА. Экспонирование ПММА методом векторного и растрового сканирования. Рассеяние электронов и эффекты близости. Источники рентгеновского излучения.

№ темы	Наименование разделов, тем	Содержание тем
		Рентгеновская литография. Основные принципы. Структура установки рентгеновской литографии. Рентгеновские резисты. Этапы обработки рентгеновского резиста, проявляемого в плазме. Рентгеновский шаблон: структура, технологический процесс изготовления. Перспективы применения.
21.	Перспективные методы субмикронной и нанолитографии	Возможные варианты создания высокого аспектного отношения. Литография в глубокой УФ-области. Многослойные резисты. Источник экстремального ультрафиолетового излучения эксимерного лазера. «Импринт»-литография. Основные реактивы для создания маски. «Импринт»-штамп. Технично-экономические показатели процесса. Технология SKALPEL.
Раздел 6. Размерное травление технологического слоя		
22.	Глубокое химическое травление кремния	Особенности химического травления через фоторезистивную маску. Специфичные требования к маске при глубоком травлении. Механизм травления кремния в смеси азотной и плавиковой кислот. Изотропное и анизотропное травление. Стадия, контролирующая скорость травления. Травление кремния в щелочных растворах. Использование травления для выявления дефектов кремниевых пластин. Электрохимическое травление кремния для получения сверхтонких мембран.
23.	Химическое травление диэлектрических слоев	Химическое травление диоксида кремния. Механизм травления. Составы травителей. Химическое травление фосфоро- и боросиликатного стекла. Химическое травление нитрида и оксинитрида кремния.
24.	Химическое травление металлов	Травление алюминия и его сплавов. Травление хрома. Травление меди и ее сплавов. Травление никелевых слоев. Травление пленок ванадия. Травление многослойных покрытий. Электрохимическое травление пленок металлов.
25.	Ионно-плазменное и ионно-лучевое травление технологического слоя	Физические и химические явления в газовых разрядах. Возникновение ионов, атомов и радикалов. Гомогенные и гетерогенные реакции. Способы создания плазмы. Источники ионов. Дiodный реактор планарного типа. Основные технологические плазмообразующие среды на основе химически активных газов. Специфичные требования к фоторезистивной маске. Ионно-лучевой источник. Многоапертурный ионно-лучевой источник. Управление скоростями распыления материалов технологического слоя. Проблемы стойкости и полимеризации фоторезистивной маски.
26.	Плазмохимическое травление технологического слоя	Основы плазмохимического травления. Использование молекулярных газов. Технологические режимы плазмохимического травления. Система плазменного травления с параллельными электродами. Управление селективностью и анизотропией травления. Состав рабочего газа. Скорость потока, температура, загрузочный эффект. Реактивное ионное травление. Механизмы анизотропии реактивного травления. Радиационные повреждения. Примесные загрязнения. Основные плазмообразующие среды. Проблемы экологии и утилизации продуктов реакции.

№ темы	Наименование разделов, тем	Содержание тем
5 семестр		
Часть 2. Технология изготовления элементов ИС		
Раздел 7. Формирование изоляции элементов ИС		
27.	Комбинированные методы изоляции	Закономерности проектирования технологических маршрутов изготовления ИС. Взаимосвязь этапов технологического процесса. Себестоимость технологических процессов. Блочный характер технологического маршрута изготовления ИС. Особенности формирования «скрытых слоёв» в биполярных структурах. Методы локального окисления (LOKOS, LOPOS). Этапы формирования. Дефекты структуры элементов микросхем, пути их устранения. Щелевая изоляция элементов ИС. Изоляция неглубокими канавками (STI). Преимущества, недостатки и применение методов в конкретных изделиях.
28.	Методы полной диэлектрической изоляции	Структура полной диэлектрической изоляции элементов ИС. Метод изоляции «кремний на сапфире» (КНС-структура): основные особенности, этапы формирования элементов. Причины, сдерживающие широкое применение КНС-структур. Изоляция «кремний на изоляторе» (КНИ-структура). Методы формирования КНИ-структур. Кристаллизация пленок кремния на диэлектрической подложке. Метод реактивной ионной имплантации. Термокомпрессионное соединение пластин с последующим уплотнением. Сравнительная характеристика методов полной диэлектрической изоляции элементов ИС.
Раздел 8. Формирование активной структуры элементов ИС		
29.	Биполярная структура элементов ИС	Пристеночные методы формирования элементов. Методы самосовмещения и самоформирования транзисторных структур ИС. Самосовмещенные структуры транзистора (SST): способы реализации. Формирование супертонких базовых и эмиторных слоев. Технологические процессы реализации различных схмотехнических элементов (ЭСЛ, ТТЛ, ТТЛШ). Особенности создания транзисторной структуры с диодом Шоттки.
30.	МОП-структура элементов ИС	Этапы формирования МОП-структур. Особенности проведения технологических процессов подзатворного окисления. Подзатворные диэлектрики с высокой диэлектрической проницаемостью. Самосовмещенный затвор, выбор материала затвора. Пленки поликристаллического кремния и силицидов металлов для затворов и межкомпонентных соединений в МОП-структурах ИС. Формирование МОП-структур со слабелегированными истоками, стоком (LDD-структуры).
Раздел 9. Металлизация элементов ИС		
31.	Однослойная, многослойная и многоуровневая металлизации на основе пленок алюминия.	Роль и проблемы металлизации элементов ИС. Алюминиевая однослойная металлизация. Методы формирования, свойства, преимущества и недостатки алюминиевой металлизации. Пленки поликристаллического кремния (ППК). Методы получения, свойства и сфера применения ППК. Металлизация тугоплавкими металлами. Особенности многоуровневой металлизации. Силициды металлов для затворов и

№ темы	Наименование разделов, тем	Содержание тем
		межкомпонентных соединений в МОП ИС. Отказы, вызванные металлизацией. Методы планаризации кристаллов. Тенденция развития металлизации..
32.	Металлизация элементов ИС на основе пленок меди	Конструктивно-технологические особенности создания межсоединений элементов ИС на основе пленок меди. Методы двойной гравировки. Технологические процессы осаждения пленок меди. Селективный метод осаждения пленок меди. Диффузионные барьерные слои, их классификация. Этапы формирования многоуровневой металлизации на основе пленок меди.
Раздел 10. Конструктивно-технологические особенности формирования ИС на КМОП- и БиКМОП-структурах		
33.	Этапы формирования КМОП-структур	Методы создания n-, p-карманов. Технологический процесс с двумя карманами. Самосовмещенные карманы. Тиристорный эффект (защелкивание) в КМОП-структурах. Легирование канала. Конструкторско-технологические методы управления пороговым напряжением в КМОП-транзисторах. Формирование подзатворного диэлектрика, электрода затвора и исток-стоковых областей. Технологический маршрут формирования ИС на КМОП-структурах.
34.	Кремний-германиевая технология при формировании БиКМОП-структур	Физические свойства SiGe-тонких пленок. Электрические свойства SiGe-приборов. Методы формирования SiGe-слоев. Этапы формирования БиКМОП-структур.
Раздел 11. Конструктивно-технологические особенности формирования 3D-транзисторов для ИС		
35.	Этапы формирования двухзатворного горизонтального транзистора	Разновидности 3D-структур. Конструктивно-технологические особенности двухзатворного горизонтального транзистора. Этапы формирования. Перспективы применения в производстве КМОП-ИС. Формирование подзатворного диэлектрика, электрода затвора и исток-стоковых областей. Технологический маршрут формирования ИС на КМОП-ИС.
36.	Этапы формирования FINFET-транзисторов	Разновидности FINFET-транзисторов. Конструктивные особенности. Этапы формирования FINFET-структур. Перспективы развития ИС на FINFET-структурах.
Раздел 12. Методы контроля и анализа структуры элементов ИС		
37.	Оптические методы контроля	Эллипсометрия: основы метода. Лазерный эллипсометрический микроскоп: оптическая схема. Области применения метода. Спектрофотометрия. Принцип работы инфракрасного спектрофотометра. Применение спектрофотометрии в микроэлектронике. Оптическая микроскопия. Микроскопы, работающие в видимой и инфракрасной областях спектра. Принцип интерферометрии в оптическом микроскопе. Программно-аналитические комплексы. Тепловизионная пирометрия. Основы метода термографии. Термовизоры: их применение.
38.	Электрофизические методы контроля	Зондовые методы измерений. Вольт-фарадные характеристики МОП-структур. Контроль вольт-амперных характеристик. Методы пооперационного контроля кремниевых пластин. Тестовые структуры, как инструмент оценки качества микросхем.

№ темы	Наименование разделов, тем	Содержание тем
		Классификация тестовых структур. Методы проверки параметров тестовых структур на пластине.
39.	Методы элементного и структурного анализа	Анализ структуры элементов микросхем на электронном микроскопе просвечивающего типа. Принцип работы микроскопа. Метод дифракции быстрых электронов. Эффект вторичной дифракции электронов, Кикучи-линии. Метод просвечивающей электронной микроскопии. Растровая электронная микроскопия. Принцип работы микроскопа. Применение метода в технологическом процессе формирования структуры микросхем. Анализ элементного состава пленочных структур микросхем. ОЖЕ-электронная спектроскопия. Вторичная ионная масс-спектрометрия.
Часть 3. Технология многокристалльных модулей (МКМ) и гибридных микросборок (МСБ)		
Раздел 13. Термины и определения микроэлектроники, касающиеся МКМ и МСБ.		
Производственный и технологический процессы		
40.	Термины и определения микроэлектроники, касающиеся МКМ и МСБ	Термины и определения микроэлектроники, касающиеся микросборок, больших гибридных интегральных схем и многокристалльных модулей.
41.	Производственный и технологический процессы. Основные понятия и определения	Виды производства. Технологическая документация и её состав. Маршрутная карта, операционная карта, карта эскизов и схем, технологическая инструкция, материальная ведомость, ведомость оснастки. Правила оформления. Классификация технологических процессов. Технологичность изделий. Параметры технологического процесса.
Раздел 14. Основания (подложки) для МКМ и МСБ		
42.	Свойства и характеристики диэлектрических оснований МКМ и МСБ	Схемы построения микроэлектронных устройств. Материалы, используемые при изготовлении диэлектрических оснований: боросиликатные стекла, ситаллы, нитрид алюминия, карбид кремния, керамика, бериллиевая керамика, слоистые материалы из стеклофторполимерной и стеклополифениленоксидной смол.
43.	Свойства и характеристики металлических оснований МКМ и МСБ	Необходимость разработки и применения металлических оснований. Диэлектрические покрытия металлических оснований. Алюминиевые основания как наиболее перспективные.
44.	Формирование пассивных элементов МКМ и МСБ	Технологические процессы нанесения тонких пленок. Технология нанесения толстых пленок. Получение различных конфигураций тонкопленочных структур.
Раздел 15. Конструктивно-технологические особенности изготовления МКМ		
45.	Многокристалльные модули на основе печатных плат (МКМ-L) и на керамических основаниях (МКМ-C)	Технология МКМ-L - более высокая версия технологии гибридных ИС на основе печатных плат. Технология МКМ-C как новый этап развития технологии гибридных ИС на керамических основаниях. Конструктивно-технологические особенности. Основные характеристики. Области применения.
46.	Многокристалльные	Технология МКМ-D как дальнейшее развитие технологии

№ темы	Наименование разделов, тем	Содержание тем
	модули на основе тонких пленок (МКМ-D)	высокоинтегрированных гибридных ИС на основе тонких пленок. Конструктивно-технологические особенности. Предельные возможности технологии. Перспективы развития.
47.	Многokrистальные модули на основе электрохимического процесса окисления вентильных металлов (МКМ-А)	Технология МКМ-А как принципиально новая технология гибридных ИС на основе электрохимического процесса окисления вентильных металлов. Конструктивно-технологические особенности. Частотные характеристики. Перспективы развития.
48.	Многokrистальные модули на основе кремния (МКМ-Si)	Конструктивно-технологические особенности. Двухэтажное расположение кристаллов. Двух- и трехуровневая алюминиевая металлизация с изоляцией оксидом кремния. Степень интеграции, теплоотвод и себестоимость
Раздел 16. Сборка тонкопленочных и толстопленочных МКМ и МСБ		
49.	Сборка МКМ и МСБ	Структура технологического процесса сборки. Автоматизация и механизация сборки и монтажа. Схема типового процесса сборки. Пайка, приклеивание, сварка.
50.	Монтаж кристаллов и плат в МКМ и МСБ	Методы и этапы сборки. Технология монтажа кристаллов и плат. Пайка, приклеивание, сварка. Способы защиты МКМ и МСБ.
51.	Перспективы развития и применения различных технологий МКМ	Мировые тенденции развития изделий микроэлектроники, в том числе создание двух- и трехмерных многokrистальных модулей. Керамикополимерные сверхминиатюрные корпуса типа CSP.
Раздел 17. Применение технологии поверхностного монтажа компонентов при изготовлении МКМ и МСБ		
52.	Компоненты поверхностного монтажа	Пассивные компоненты: постоянные резисторы, переменные резисторы, конденсаторы постоянной емкости, подстроечные конденсаторы, индуктивные элементы. Активные компоненты. Технологические особенности монтажа компонентов. Знакомство для компонентов. Эффект «надгробного камня».
53.	Коммутационные платы	Классификация коммутационных плат. Конструкции, методы изготовления коммутационных плат, основные материалы для изготовления коммутационных плат. Конструкция печатного рисунка. Защитная маска. Многослойные коммутационные платы. Коммутационные платы для поверхностного монтажа. Особенности конструкции и технологии изготовления коммутационных плат для поверхностного монтажа.
54.	Варианты реализации поверхностного монтажа	Чисто поверхностный монтаж. Смешанно-разнесенный монтаж. Смешанный монтаж. Особенности процессов. Достоинства и недостатки вариантов.
55.	Пайка и ремонт в технологии поверхностного монтажа	Пайка двойной волной припоя. Пайка в парогазовой фазе. Пайка в инфракрасной печи. Другие методы пайки. Сравнение различных методов пайки. Паяльные пасты. Методы ремонта и доработки печатных узлов

2. Информационно-методический раздел

2.1 Литература

2.1.1 Основная

- 2.1.1.1. Степаненко, И. П. Основы микроэлектроники : учебное пособие / И. П. Степаненко. – 2-е изд. – Москва : Лаборатория базовых знаний, 2004. – 488 с.
- 2.1.1.2. Рындин, Е. А. Субмикронные интегральные схемы: элементная база и проектирование /Е. А.Рындин, Б.Г. Коноплев. – Таганрог, 2001. – 146 с.
- 2.1.1.3. Моро У.Микролитография : принципы, методы, материалы : в 2 ч. Ч. 1 / У. Моро ; пер. с англ. ; под ред. Р. Х. Тимерова. – М. : Мир, 1990. – 606 с.
- 2.1.1.4. Моро У.Микролитография : принципы, методы, материалы : 2 в ч. Ч. 2 / У. Моро ; пер. с англ. Д. Ю. Зарослова, К. Я. Мокроусова, В. А. Никитаева ; под ред. Р. Х. Тимерова. – М. : Мир, 1990. – 639 с.
- 2.1.1.5. Черных, А. Г. Технологические маршруты изготовления ИС : лабораторный практикум по курсам "Маршрутная технология ИС" и "Технологические процессы микроэлектроники" для студентов специальности 1-41 01 02 "Микро- и наноэлектронные технологии и системы" и 1-41 01 03 "Квантовые информационные системы" всех форм обучения / А. Г. Черных, С. В. Ригольд. – Минск : БГУИР, 2006. – 35 с.
- 2.1.1.6. Черных, А. Г. Технология изготовления КМОП-транзисторов : методическое пособие по дисциплине "Технологические процессы микроэлектроники" для студентов спец. 1-41 01 03 "Квантовые информационные системы" дневной формы обучения / А. Г. Черных, Д. А. Котов. – Минск: БГУИР, 2008. – 47 с.
- 2.1.1.7. Технология СБИС : в 2 кн. Кн. 1 / под ред. С. Зи ; пер. с англ. Ю. Д. Чистякова. – М. : Мир, 1986. – 404 с. : ил.
- 2.1.1.8. Технология СБИС : в 2 кн. Кн. 2 / под ред. С. Зи ; пер. с англ. Ю. Д. Чистякова. – М. : Мир, 1986. – 453 с. : ил.
- 2.1.1.9. Борисенко, В. Е. Наноэлектроника : учебное пособие [доп. МО РБ] / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина. – Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 223 с.
- 2.1.1.10. Плазменная технология в производстве СБИС/ под ред. Н. Айнспрука, Д. Брауна ; перевод с англ. Ю. М. Золотарева, В. В. Юдина ; под ред. Е. С. Машковой. – М. : Мир, 1987. – 469 с.
- 2.1.1.11. Технологические процессы микроэлектроники [Электронный ресурс] : электронный ресурс по учебной дисциплине : 1-41 01 03. - Минск : БГУИР, 2015.
- 2.1.1.12. Черных, А.Г. Технологические процессы микроэлектроники. Часть 2. «Технология изготовления элементов ИС», «Маршрутная технология интегральных и больших гибридных интегральных схем» для студентов специальностей 1-41 01 03, всех форм обучения: электронный учебно-методический комплекс / А. Г.Черных. – Минск: БГУИР, 2012.

2.1.1.13. Сокол, В.А. Электрохимическая технология гибридных интегральных микросхем : монография / В. А. Сокол. – Минск :Бестпринт, 2004. – 360 с.

2.1.2 Дополнительная

2.1.2.1. Сокол, В. А. Технология БГИС : в 4 ч. Ч.1: лабораторный практикум для студентов специальности «Микроэлектроника» / В.А. Сокол, А.Г. Черных, В.В. Шульгов. – Мн.: БГУИР, 2000.

2.1.2.2. Сокол, В. А. Лабораторный практикум по курсу «Технология БГИС» для студентов специальности «Микроэлектроника» : в 4 ч. Ч.2. / В. А. Сокол, В. В. Шульгов. – Мн.: БГУИР, 2002.

2.1.2.3. Дорошевич, К. К. Многокристальные модули – новое конструктивно-технологическое направление в развитии комплектующих изделий / К.К.Дорошевич, В.К.Дорошевич, В.А.Телец// Технологическое оборудование и материалы. – 1998. – № 4. – С.29-32.

2.1.2.4. Телец, В.А. Многокристальные модули – новое конструктивно-технологическое направление / В.А.Телец// Петербургский журнал электроники. – 2000. – № 3-4. – С. 109-113.

2.1.2.5. Бражник, В.А. Проблемы выбора монтажных подложек для многокристальных модулей / В.А.Бражник, М.В.Хохлов, А.А. Чернышов // Электронная промышленность. – 2006. – № 2. – С. 10-17.

2.1.2.6. Хохлов, М.В. Сверхминиатюрные корпуса интегральных схем / М. В. Хохлов, А. А. Чернышов // Электронная промышленность. – 2005. – № 4. – С. 64-71.

2.1.2.7. Глухов, А.С. Кремниевые МКМ – приоритетное направление развития быстродействующей РЭА / А.С. Глухов [и др.] // Электронная промышленность. – 1994. – Вып. 4-5. – С. 61-65.

2.1.2.8. Ферри, Д. Электроника ультрабольших интегральных схем / Д. Ферри, Л. Эйкерс, Э. Гринич. – М.: Мир, 1991.

2.1.2.9. Campbell, S. The science and engineering of microelectronic fabrication / S. Campbell. – New York: Oxford university press, 2001. – 603 p.

2.1.2.10. Goddard, W. Handbook of nanoscience, engineering, and technology / W. A. Goddard, et. al. – New York: CRC Press, 2003. – 709 p.

2.1.2.11. Bhushan, B. Handbook of nanotechnology / B. Bhushan. – Berlin: Springer-Verlag, 2004. – 1222 p.

2.1.2.12. Чернышов, А.А. Производство и применение стеклокерамических корпусов для сборки ИС / А. А. Чернышов [и др.] // Электронная техника. – Сер. 6 (материалы). – 1991. – Вып. 10 (64). – С. 3-20.

2.1.2.13. Lall P. An overview of multichip modules / P. Lall, S. Bhagath // Solid state technology. – 1993. – V.36, № 9. – PP. 65-67, 70, 72, 74, 76.

2.1.2.14. Нано- и микросистемная техника: журнал Аннотации статей [Электронный ресурс]. – 2008. – режим доступа: <http://www.microsystems.ru>.

2.2 Перечень компьютерных программ, наглядных и других пособий, методических указаний и материалов, технических средств обучения, оборудования для выполнения лабораторных работ

2.2.1. Программа GGTTRES.

2.2.2. Программный комплекс TRIM.

2.2.3. Программа OFD.

2.2.4. Программа NPLD2A.

2.2.5. Комплекс программ «Лабораторные работы по базовой технологии».

2.2.6. Комплекс программ «Лабораторные работы по маршрутной технологии».

2.2.7. Программа «Оформление маршрутных и операционных карт».

2.2.8. Комплекс программ «Лабораторные работы по технологии изготовления пленочных МСБ и МКМ».

2.2.9. Комплекс программ «Использование процесса анодирования алюминия при изготовлении МКМ».

2.2.10. Шульгов, В.В. Технология БГИС. Лабораторный практикум для студентов специальности «Микро- и нанoeлектронные технологии и системы» в 4-х частях. Часть 3: «Технологические процессы формирования топологии пленочных элементов» / В. В. Шульгов. – Минск : БГУИР, 2009.

2.2.11. Комплекс программ «Технология поверхностного монтажа компонентов при изготовлении пленочных МСБ и МКМ»

2.3. Перечень тем практических занятий, их название

Целью практических занятий является закрепление теоретического курса, приобретение навыков решения задач, активизация самостоятельной работы студентов.

№ темы по п.1	Название практического занятия	Содержание	Обеспеченность по пункту 2.2
Семестр 5			
41	Оформление операционной и маршрутной карт технологического процесса	Маршрутная карта, операционная карта, карта эскизов и схем, технологическая инструкция, материальная ведомость, ведомость оснастки. Правила оформления	2.2.7
44	Технология нанесения толстых пленок	Изучение технологического процесса нанесения толстых пленок. Расчет требуемой толщины пленок для резисторов и металлизации	2.2.8, 2.2.10
44	Пассивные элементы МКМ	Технология изготовления пленочных резисторов и конденсаторов. Расчет частотных свойств пленочных резисторов. Расчет добротности пленочных конденсаторов.	2.2.8, 2.2.10
45	Многokrистальные	Технология непосредственного монтажа	2.2.8

	модули на основе печатных плат (МКМ-L)	кристаллов на коммутационную плату. Расчет металлизации коммутационных плат по постоянному току	
44, 46	Технология нанесения тонких пленок. Многокристалльные модули МКМ-D	Расчет контактного переходного сопротивления при изготовлении многоуровневой металлизации МКМ и тонкопленочных резисторов	2.2.8
47	Многокристалльные модули на основе электрохимического процесса окисления вентильных металлов (МКМ-A).	Технология изготовления анодированных алюминиевых оснований для МКМ. Расчет толщины оксидного покрытия на алюминиевой основе и механических напряжений в системе алюминий-оксид алюминия	2.2.9
52, 54	Технология поверхностного монтажа (ТПМ) компонентов	Изучение технологического процесса монтажа. Расчет оптимального количества припойной пасты для монтажа SMD-компонентов	2.2.11
55	Пайка в технологии поверхностного монтажа	Изучение технологических процессов пайки в ТПМ. Расчет температурного профиля пайки компонентов в ИК-печи	2.2.11

2.4. Перечень тем лабораторных занятий, их название

Основная цель проведения лабораторных занятия состоит в закреплении теоретического материала курса, приобретении навыков выполнения эксперимента, обработки экспериментальных данных, анализа результатов, грамотного оформления отчетов.

№ темы по п.1	Наименование лабораторной работы	Содержание	Обеспеченность по пункту 2.2
Семестр 4			
11	Высокотемпературное окисление кремния	Расчет глубины залегания p-n-перехода. Определение профиля распределения примесей. Определение режимов загонки и разгонки примесей.	2.2.1-5
12	Высокотемпературная диффузия	Расчет скорости роста оксида кремния в сухом и влажном кислороде.	2.2.1-5
13	Ионное легирование - имплантация	Изучение методов эпитаксиального наращивания кремния. Хлоридный и силановый метод.	2.2.1-5
13	Ионное легирование - имплантация	Расчет дозы облучения для получения заданной концентрации примеси. Расчет распределения примесей в двухслойных структурах. Расчет энергии ионов для получения заданного пробега.	2.2.1-5
15	Химическое осаждение пленок из парогазовой фазы (CVD-процессы)	Аппаратное обеспечение процессов осаждения углеродных алмазоподобных пленок. Свойства пленок и их применение.	2.2.1-5

№ темы по п.1	Наименование лабораторной работы	Содержание	Обеспеченность по пункту 2.2
18	Технология формирования рисунка технологических слоев	Изучение операций фотолитографии с использованием: однослойной и многослойной маски, вспомогательных слоев, маски с нависающим краем. Изучение метода обратной «взрывной» литографии. Применение и ограничения применения.	2.2.1-5
Семестр 5			
27	Технологические процессы изоляции элементов микросхем	Изучение технологического процесса изготовления блока изоляции ИМС на ПЭВМ. Изучение конструкции тестовых модулей и топологии тестовых структур на кремниевых пластинах. Измерение основных параметров тестовых структур на ПЭВМ и построение гистограммы распределения значений параметров блока изоляции ИМС. Сопоставление реальных (полученных в результате измерений) распределений значений параметров с оптимальными и подготовка рекомендаций по изменению технологического процесса блока изоляции ИМС.	2.2.1-4,6
29	Процессы изготовления ТТЛШ микросхем на тестовых структурах	Изучение технологического процесса изготовления ТТЛШ ИМС на ПЭВМ. Изучение конструкции тестовых модулей и топологии тестовых структур на кремниевых пластинах. Измерение основных параметров тестовых структур на ПЭВМ и построение гистограммы распределения значений параметров ТТЛШ тестовых структур. Сопоставление реальных (полученных в результате измерений) распределений значений параметров с оптимальными и подготовка рекомендаций по изменению технологического процесса изготовления ТТЛШ ИМС.	2.2.1-4,6
31	Многоуровневая металлизация элементов ИС на основе пленок алюминия и его сплавов	Изучение технологического процесса изготовления блока металлизации ИМС на основе пленок алюминия. Изучение конструкции и топологии тестовых структур на кремниевых пластинах. Измерение основных параметров тестовых структур на ПЭВМ и построение гистограммы распределения значений параметров блока металлизации ИМС. Сопоставление реальных (полученных в результате измерений) распределений значений параметров с оптимальными и подготовка рекомендаций по изменению технологического процесса изготовления блока металлизации ИМС на основе пленок алюминия.	2.2.1-4,6
32	Металлизация элементов ИС на основе пленок меди	Изучение технологического процесса изготовления блока металлизации ИМС на основе пленок меди. Изучение конструкции и топологии тестовых структур	2.2.1-4,6

№ темы по п.1	Наименование лабораторной работы	Содержание	Обеспеченность по пункту 2.2
		на кремниевых пластинах. Измерение основных параметров тестовых структур на ПЭВМ и построение гистограммы распределения значений параметров блока металлизации ИМС. Сопоставление реальных (полученных в результате измерений) распределений значений параметров с оптимальными и подготовка рекомендаций по изменению технологического процесса изготовления блока металлизации ИМС на основе пленок меди.	
33	Этапы формирования КМОП-структур	Изучение технологического процесса изготовления КМОП ИМС на ПЭВМ. Изучение конструкции тестовых модулей и топологии тестовых структур на кремниевых пластинах. Измерение основных параметров тестовых структур на ПЭВМ и построение гистограммы распределения значений параметров КМОП тестовых структур. Сопоставление реальных (полученных в результате измерений) распределений значений параметров с оптимальными и подготовка рекомендаций по изменению технологического процесса изготовления КМОП ИМС.	2.2.1-4,6
34	Кремний-германиевая технология при формировании БиКМОП-структур	Изучение технологического процесса изготовления БиКМОП ИМС на ПЭВМ. Изучение конструкции тестовых модулей и топологии тестовых структур на кремниевых пластинах. Измерение основных параметров тестовых структур на ПЭВМ и построение гистограммы распределения значений параметров БиКМОП тестовых структур. Сопоставление реальных (полученных в результате измерений) распределений значений параметров с оптимальными и подготовка рекомендаций по изменению технологического процесса изготовления БиКМОП ИМС.	2.2.1-4,6
45	Свойства и характеристики металлических оснований МКМ	Изучение конструкций и технологии изготовления металлических оснований (стальных эмалированных, титановых, медь-эпоксидная смола, медь-инвар-медь, алюминиевых анодированных). Исследование термической стойкости и расчет ТКЛР алюминиевых анодированных оснований	2.2.8, 2.2.9
47	Многокристалльные модули на основе электрохимического процесса окисления вентильных	Изучение конструкций многокристалльных модулей. Исследование процессов пористого и плотного анодирования алюминиевых оснований для многокристалльных модулей. Расчет толщины анодного оксида в зависимости от плотности тока и продолжительности процесса анодирования.	2.2.8, 2.2.9

№ темы по п.1	Наименование лабораторной работы	Содержание	Обеспеченность по пункту 2.2
	металлов (МКМ-А)		
49, 55	Сборка МКМ и МСБ	Изучение конструкций и технологии изготовления корпусов для МКМ и МСБ. Исследование и расчет электрических параметров анодированных алюминиевых корпусов.	2.2.8, 2.2.9
53	Коммутационные платы	Изучение классификации коммутационных плат микроэлектронной аппаратуры. Исследование параметров коммутационных плат: емкости, сопротивления изоляции и взаимоиндуктивности между двумя соседними проводниками платы, токонесущей способности проводников, сопротивления самого длинного из проводников.	2.2.8, 2.2.9

2.5. Перечень рекомендуемых средств диагностики результатов учебной деятельности

Для диагностики результатов учебной деятельности могут использоваться следующие формы:

1. Текущий опрос.
2. Контрольный опрос.
3. Решение задач.
4. Защита лабораторной работы (письменный отчет с устной защитой).

2.5 Курсовая работа, ее характеристика

Целью курсовой работы является приобретение студентами навыков самостоятельной работы и закрепление знаний, лежащих в основе технологических приемов изготовления микроэлементов и микросхем.

В процессе выполнения курсовой работы студенты осваивают принципы проектирования технологических процессов и маршрутов изготовления микросхем. Для получения более глубоких знаний в технологии производства полупроводниковых микросхем, практического соблюдения определённых закономерностей выполнения базовых технологических процессов при разработке маршрутов изготовления микросхем предусматривается выполнение курсовой работы для различных физических структур.

Содержание материалов курсовой работы должно соответствовать заданию и может включать: техническое задание; отчет о проделанной студентом научно-исследовательской работе (НИРС) или учебно-исследовательской работе (УИРС); рабочую технологическую (или конструкторско-технологическую) документацию; фактический и иллюстрационный материал (плакаты, образцы, другие документы); лабораторные образцы изделий или их макеты.

Общий объем текстовых материалов не должен превышать 40 страниц текста, графических – три-четыре чертежа форматов, предусмотренных стандартом СТП 01-2017 «Дипломные проекты (работы). Общие требования» или требованиями, установленными ГОСТ 2.605-68 «Плакаты учебно-технические. Общие технические требования».

Для курсовых работ по разработке и изготовлению макетов и лабораторных образцов допускается оформлять только пояснительную записку (объем 10-15 страниц рукописного текста) с включением в него в качестве приложений необходимых структурных, принципиальных или аналогичных им по смыслу схем.

Курсовые работы, направленные на решение самостоятельных вопросов в рамках госбюджетных и хоздоговорных НИР, допускается защищать без оформления текстовых и графических материалов, в случае, если эти материалы включены в отчеты по соответствующей НИР. Документация курсовых работ, тематика которых определена одним из вариантов указанных ниже, должна содержать: расчетно-пояснительную записку; графический материал.

Перечень тем курсовых работ

1. Разработать маршрутную технологию блока изоляции ИС на ТТЛШ-элементах (5 вариантов).
2. Разработать маршрутную технологию блока изоляции ИС на п-МОП-элементах (5 вариантов).
3. Разработать маршрутную технологию блока изоляции ИС на КМОП-элементах (5 вариантов).
4. Разработать маршрутную технологию блока изоляции ИС на БиКМОП-элементах (5 вариантов).
5. Разработать маршрутную технологию блока активной структуры ИС на ТТЛШ-элементах (5 вариантов).
6. Разработать маршрутную технологию блока активной структуры ИС на п-МОП-элементах (5 вариантов).
7. Разработать маршрутную технологию блока активной структуры ИС на КМОП-элементах (5 вариантов).
8. Разработать маршрутную технологию блока активной структуры ИС на БиКМОП-элементах (5 вариантов).
9. Разработать маршрутную технологию блока металлизации ИС на ТТЛШ-элементах (5 вариантов).
10. Разработать маршрутную технологию блока металлизации ИС на п-МОП-элементах (5 вариантов).
11. Разработать маршрутную технологию блока металлизации ИС на КМОП-элементах (5 вариантов).
12. Разработать маршрутную технологию блока металлизации ИС на БиКМОП-элементах (5 вариантов).

3. 1. Учебно-методическая карта учебной дисциплины в дневной форме получения образования

Номер раздела	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Самостоятельная работа, часы	Форма контроля знаний
		ЛК	Лаб. зан.	ПЗ		
Семестр 4						
Часть 1. Основы кремниевой технологии						
Раздел 1. Контроль качества полупроводниковых материалов и чистоты химических реактивов		8	-	-	10	
1.	Введение	2	-	-	1	Текущий опрос
2.	Требования, предъявляемые к кремнию	4	-	-	4	Текущий опрос
3.	Чистые помещения	2	-	-	5	Контрольный опрос
Раздел 2. Подготовка подложек		8	-	-	20	
4.	Методы исходной обработки подложек	4	-	-	10	Текущий опрос
5.	Химико-механическое полирование или планаризация подложек	4	-	-	10	Текущий опрос
Раздел 3. Очистка поверхности подложек от загрязнений		10	-	-	30	
6.	Типы загрязнений поверхности подложек	2	-	-	5	Текущий опрос
7.	Удаление жировых загрязнений	2	-	-	5	Текущий опрос
8.	Химические методы очистки поверхности подложек	2	-	-	10	Текущий опрос
9.	Отмывка поверхности после химической очистки	2	-	-	5	Текущий опрос
10.	Сушка пластин	2	-	-	5	Контрольный опрос
Раздел 4. Процессы создания технологического слоя		18	20	-	40	
11.	Высокотемпературное окисление кремния	2	4	-	5	Защита лабораторной работы
12.	Высокотемпературная диффузия	4	4	-	5	Защита лабораторной работы
13.	Ионное легирование-имплантация	2	8	-	5	Защита лабораторной работы
14.	Газофазная и молекулярно-лучевая эпитаксия	2	-	-	5	Текущий опрос
15.	Химическое осаждение пленок из парогазовой фазы (CVD-процессы)	4	4	-	5	Защита лабораторной работы
16.	Физическое осаждение из паровой фазы	2	-	-	5	Текущий опрос
17.	Физическое осаждение распылением	2	-	-	10	Текущий опрос
Раздел 5. Микролитография		8	8	-	20	
18.	Технология формирования рисунка технологических слоев	2	8	-	5	Защита лабораторной работы
19.	Фотошаблоны и технология их	2	-	-	5	

Номер раздела	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Самостоятельная работа, часы	Форма контроля знаний
		ЛК	Лаб. зан.	ПЗ		
	изготовления					
20.	Микролитография	2	-	-	5	Текущий опрос
21.	Перспективные виды субмикронной и нанолитографии	2	-	-	5	Текущий опрос
Раздел 6. Размерное травление технологического слоя		12	-	-	18	
22.	Глубокое химическое травление кремния	2	-	-	4	Текущий опрос
23.	Химическое травление диэлектрических слоев	2	-	-	4	Текущий опрос
24.	Химическое травление металлов	2	-	-	2	Текущий опрос
25.	Ионно-плазменное и ионно-лучевое травление технологического слоя	4	-	-	4	Текущий опрос
26.	Плазмохимическое травление технологического слоя	2	-	-	4	Контрольный опрос
Промежуточная аттестация						Экзамен
Итого в 4 семестре		64	28	-	138	
Семестр 5						
Часть 2. Технология изготовления элементов ИС						
Раздел 7. Формирование изоляции элементов ИС		4	4	-	8	Текущий опрос
27.	Комбинированные методы изоляции	2	4	-	4	Защита лабораторной работы
28.	Методы полной диэлектрической изоляции	2	-	-	4	Текущий опрос
Раздел 8. Формирование активной структуры элементов ИС		8	4	-	8	
29.	Биполярная структура элементов ИС	4	4	-	4	Защита лабораторной работы
30.	МОП-структура элементов ИС	4	-	-	4	
Раздел 9. Металлизация элементов ИС		4	8	-	12	
31.	Однослойная, многослойная и многоуровневая металлизации на основе пленок алюминия.	2	4	-	6	Защита лабораторной работы
32.	Металлизация элементов ИС на основе пленок меди	2	4	-	6	Защита лабораторной работы
Раздел 10. Конструктивно-технологические особенности формирования ИС на КМОП- и БиКМОП-структурах		6	8	-	12	
33.	Этапы формирования КМОП-структур	4	4	-	6	Защита лабораторной работы
34.	Кремний-германиевая технология при формировании БиКМОП-структур	2	4	-	6	Защита лабораторной работы
Раздел 11. Конструктивно-технологические		4	-	-	12	

Номер раздела	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Самосто ятельная работа, часы	Форма контроля знаний
		ЛК	Лаб. зан.	ПЗ		
особенности формирования 3D-транзисторов для ИС						
35.	Этапы формирования двухзатворного горизонтального транзистора	2	-	-	6	Текущий опрос
36.	Этапы формирования FINFET-транзисторов	2	-	-	6	Текущий опрос
Раздел 12. Методы контроля и анализа структуры элементов ИС		6	-	-	14	
37.	Оптические методы контроля	2	-	-	4	Текущий опрос
38.	Электрофизические методы контроля	2	-	-	4	Текущий опрос
39.	Методы элементного и структурного анализа	2	-	-	6	Текущий опрос
Часть 3. Технология многокристалльных модулей (МКМ) и гибридных микросборок (МСБ)						
Раздел 13. Термины и определения микроэлектроники, касающиеся МКМ и МСБ. Производственный и технологический процессы		4	-	2	12	
40.	Термины и определения микроэлектроники, касающиеся МКМ и МСБ	2	-	-	6	Текущий опрос
41.	Производственный и технологический процессы. Основные понятия и определения	2	-	2	6	Текущий опрос
Раздел 14. Основания (подложки) для МКМ и МСБ		6	-	2	18	
42.	Свойства и характеристики диэлектрических оснований МКМ и МСБ	2	-	-	6	Текущий опрос
43.	Свойства и характеристики металлических оснований МКМ и МСБ	2	-	-	6	Решение задач
44.	Формирование пассивных элементов МКМ и МСБ	2	-	2	6	Текущий опрос
Раздел 15. Конструктивно-технологические особенности изготовления МКМ		8	8	6	24	
45.	Многокристалльные модули на основе печатных плат (МКМ-L) и на керамических основаниях (МКМ-C)	2	4	2	6	Защита лабораторной работы
46.	Многокристалльные модули на основе тонких пленок (МКМ-D)	2	-	2	6	Решение задач
47.	Многокристалльные модули на основе электрохимического процесса окисления вентильных металлов (МКМ-A)	2	4	2	6	Защита лабораторной работы. Решение задач
48.	Многокристалльные модули на основе кремния (МКМ-Si)	2	-	-	6	Решение задач

Номер раздела	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов			Самостоятельная работа, часы	Форма контроля знаний
		ЛК	Лаб. зан.	ПЗ		
Раздел 16. Сборка тонкопленочных и толстопленочных МКМ и МСБ		6	4	-	20	
49.	Сборка МКМ и МСБ	2	4	-	8	Защита лабораторной работы
50.	Монтаж кристаллов и плат в МКМ и МСБ	2	-	-	6	Контрольный опрос
51.	Перспективы развития и применения различных технологий МКМ	2	-	-	6	Решение задач
Раздел 17. Применение технологии поверхностного монтажа компонентов при изготовлении МКМ и МСБ		8	12	6	20	
52.	Компоненты поверхностного монтажа	2	-	2	4	Текущий опрос
53.	Коммутационные платы	2	4	-	4	Защита лабораторной работы
54.	Варианты реализации поверхностного монтажа	2	-	2	6	Решение задач
55.	Пайка и ремонт в технологии поверхностного монтажа	2	8	2	6	Защита лабораторной работы. Решение задач
	Промежуточная аттестация					Экзамен Курсовая работа
	Итого в 5 семестре	64	48	16	160	
	Итого по учебной дисциплине	128	76	16	298	

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ С ДРУГИМИ
УЧЕБНЫМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

Перечень учебных дисциплин	Кафедра обеспечивающая учебную дисциплину по п.1	Предложения об изменениях в содержании по изучаемой учебной дисциплине	Подпись заведующего кафедрой, обеспечивающей учебную дисциплину по п.1, с указанием номера протокола и даты заседания кафедры
1	2	3	5
Наноструктуры и технология их формирования Нанoeлектроника Полупроводниковые приборы и элементы интегральных микросхем	Микро- и наноэлектроника	Нет	<p style="text-align: center;">_____</p> <p style="text-align: center;">Д.Б.Мигас</p> <p style="text-align: center;">Протокол № 7 от 26.12.2022</p>

Заведующий кафедрой микро- и наноэлектроники

_____ Д.Б. Мигас