

Наименование дисциплины	Технология и оборудование производства изделий твердотельной электроники и наноэлектроники
Цели освоения дисциплины	
изучение базовых технологий производства интегральных микросхем (ИМС) на биполярных и металл-оксид-полупроводниковых (МОП) транзисторах и знакомство с типовыми конструкциями современного оборудования, начиная с оборудования для очистки технологических сред и оборудования заготовительного производства и кончая заключительными операциями технологической цепочки производства – сборкой, герметизацией, контролем и испытаниями ИМС.	
Место дисциплины в структуре ООП	
Дисциплина относится к дисциплинам Блока 1 учебного плана подготовки по данному направлению подготовки. Она базируется на результатах изучения естественнонаучных дисциплин, в том числе математики, физики, информатики, а так же дисциплин профиля: «Вакуумно-плазменные процессы и технологии», «Схемотехника», «Технология материалов твердотельной электроники», «Процессы микро- и нанотехнологий».	
Основное содержание	
Модуль 1. Введение в кремниевую электронику: особенности, определяющие уникальность производства	
Этапы развития и современное состояние технологии материалов и приборов макро-, микро- и наноэлектроники. Дорожная карта развития кремниевой полупроводниковой микроэлектроники. Классификация полупроводниковых приборов и ИС. Технологические схемы процессов изготовления полупроводниковых приборов и ИС; понятие структуры комплексов технологических процессов. Технологическое обеспечение надежности изделий и контроль качества технологического процесса. Требования к чистоте воздушной среды и климатическим параметрам. Основные положения электронной гигиены. Жидкие химические и газообразные среды: назначение, классификация, типы загрязнений, способы очистки газов, методы очистки воды.	
Специализация подразделений (цехов, участков, предприятий). Понятие качества. Критерии качества ИМС. Монтаж и сборка кристаллов ИМС. Основные требования к процессу сборки микросхем в корпус. Классификация оборудования для сборки, сварки, пайки и герметизации изделий. Оборудование для монтажа, сборки, герметизации. Контроль качества готовых ИМС. Выход годных.	
Модуль 2. Подготовка кремниевых подложек, основы эпитаксии	
Методы очистки полупроводниковых пластин: жидкостная очистка (методы очистки), RCA процесс (стандартный, модифицированный), сухая очистка. Гетерирование: понятие, способы гетерирования.	
Эпитаксия: определение, достоинства слоев, пример применения в биполярных и КМОП ИМС. Газофазная эпитаксия: физико-химические основы, режимы процесса. Типы оборудования для газофазной эпитаксии, последовательность проведения технологического процесса.	
Виды подложек: подложки для биполярных и МОП ИМС, SOI, SSOI, технология напряженного кремния, селективное эпитаксиальное выращивание.	
Модуль 3. Высокотемпературные процессы	
Оборудование для высокотемпературных процессов (“диффузионные печи”).	
Окисление кремния: физико-химические основы. Применение оксидов кремния в современной технологии. Назначение жидкостной очистки перед окислением: процедура, реактивы. Скорость окисления: факторы, на нее влияющие. Окисление в сухом и влажном кислороде. Типовые последовательности операций. Окисление при повышенном давлении. Методы контроля толщины слоев оксида кремния. Тенденции развития процессов окисления	

в технологии.

Высокотемпературная диффузия: задачи, назначение. Понятие теплового бюджета процесса. Способы диффузии. Диффузия из легированных окислов: последовательность процесса, виды диффузантов. Контроль параметров диффузионных слоев. Недостатки высокотемпературной диффузии.

Отжиг: после ионной имплантации: (назначение, применение в современной технологии), для формирования твердых растворов, для оплавления.

Высокотемпературное химическое осаждение из газовой фазы (CVD): области применения. CVD эпитаксиального и поликристаллического кремния: параметры процесса, типовая последовательность проведения процесса, оборудование. CVD нитрида кремния: параметры процесса, типовая последовательность проведения процесса, оборудование. Применение нитрида кремния в современной технологии.

Быстрые термические процессы (RTP): назначение, классификация, параметры, типовое оборудование, тенденции развития.

Модуль 4. Фотолитографические процессы

Понятие фотолитографического процесса в технологии микроэлектроники. Требования к фотолитографии. Фоторезисты: виды, составы. Очистка перед фотолитографией. Подготовка к нанесению фоторезиста. Нанесение фоторезиста. Сушка фоторезиста. Совмещение и экспонирование: требования, сканеры, степеры, источники излучения, контроль дозы. Сушка после экспонирования, проявление, задубливание. Тенденции развития фотолитографии.

Модуль 5. Плазменные процессы

Понятие плазмы. Плазменные процессы в технологии: назначение, классификация. Способы создания плазмы в технологии. Неизбежность ионной бомбардировки. Плазмостимулированное химическое осаждение. Плазменное травление. Плазменное распыление. Высокотемпературная плазма: способы создания. Оборудование плазменного осаждения и травления. Удаленная (remote) плазма (процессы в послесвечении).

Модуль 6. Ионная имплантация

Физико-химические основы ионной имплантации в кремний. Сравнение высокотемпературной диффузии и ионной имплантации. Оборудование для имплантации. Типа имплантов, влияние энергии, тока и времени имплантации на глубину залегания перехода и профиль распределения примеси. Применение ионной имплантации в технологии, основные проблемы и способы контроля процесса. Вопросы охраны труда операторов и технологов: радиационно-химическая и электробезопасность. Тенденции развития.

Модуль 7. Травление

Травление как способ формирования рисунка слоя ИМС: изотропное и анизотропное травление, скорость травления, селективность травления, профиль травления, уклон травления. Эффект загрузки при травлении. Процессы и механизмы жидкостного травления: кремния, оксида кремния, нитрида кремния, металлов. Оборудование жидкостного травления. Процессы и механизмы сухого (плазменного травления): химическое, “физическое” и реактивное ионное травление. Оборудование плазменного травления: конструкции реакционных камер и особенности процессов травления в них.

Модуль 8. Химическое осаждение из газовой фазы для формирования диэлектрических слоев

Физико-химические основы CVD-процессов. Сравнение высокотемпературных и CVD диэлектрических слоев. Характеристики профиля осажденной пленки. Типы и оборудование для CVD: CVD при атмосферном давлении, при пониженном давлении, плазмостимулированные CVD-процессы. Применение CVD диэлектрических пленок для формирования: глубокой щелевой изоляции, спэйсеров, диэлектрика под первый слой

металлизации (ILD0), межслойных диэлектриков (ILD1-6) и пассивации. Методы контроля параметров CVD диэлектрических слоев.

Модуль 9. Формирование проводящих слоев и металлизация

Назначение и основные типы проводящих материалов: поликремний, алюминий, медь, титан, вольфрам, тантал, кобальт, их силициды и нитриды. Характеристики проводящих слоев и процессов их формирования: толщина, скорость осаждения, напряженность, коэффициент отражения, сопротивление. CVD проводящих слоев: осаждение алюминия, вольфрама, титана, формирование силицидов и нитридов. Осаждение (PVD) проводящих слоев: вакуум-термическое испарение, электронно-лучевое осаждение, распыление, типовая последовательность проведения процессов. Особенности формирования медной металлизации.

Модуль 10. Химико-механическая полировка

Планирование рельефа: назначение, наиболее распространенные способы. Химико-механическая полировка (CMP): достоинства, области применения. Физико-химические закономерности CMP, CMP вольфрама, меди. CMP и стоп-слои. Обработка пластин после CMP и ее основные задачи. Тенденции развития CMP.

Модуль 11. Технология биполярных ИМС

Конструктивно-технологические особенности биполярных ИМС и их влияние на электрические параметры, основные этапы технологии биполярных ИМС, вопросы электрической изоляции в технологии биполярных ИМС, усовершенствованные конструктивно-технологические варианты. Базовый процесс формирования биполярной ИМС с изоляцией элементов при помощи р-п-перехода. Коллекторная и базовая изолирующая диффузия (КИД и БИД). Метод двойной диффузии, EPIC-процесс и VIP-процессы.

Изопланарная технология изготовления БиП ИМС: Изопланар-1, Изопланар-2. Эпипланарная и полипланарная технологии изготовления БиП ИМС. E²IC-технология (технология с использованием приподнятых электродов), PSA-технология (технология с самосовмещением с использованием поликремния), APSA-технология (модифицированная PSA). Самосовмещенный с вертикальной изоляцией биполярный интегральный транзистор VIST. Суперсамосовмещенная технология изготовления биполярного интегрального транзистора SST I, SST II, SST III. Самосовмещенный биполярный интегральный транзистор с двумя слоями поликремния.

Модуль 12. Технология МОП ИМС и структура комплексов технологических процессов.

Конструктивно-технологические особенности МОП ИМС, основные этапы технологии МОП ИМС, вопросы электрической изоляции в технологии МОП ИМС.

Изоляция интегральных МОП-структур: полевым оксидом, локальной эпитаксией кремния (LOCOS), узкой щелевой изоляцией (STI). Типы полупроводниковых карманов: одиночные и двойные карманы. Понятие самосовмещения: самосовмещенная щелевая изоляция, самосовмещенные сток/истоковые области, слаболегированные стоки. Базовая технология изготовления р-МОП интегрального транзистора. Базовая технология изготовления n-МОП интегрального транзистора. Базовая и современная технологии изготовления КМОП ИМС. Тенденции развития КМОП ИМС.

Интеграция технологических процессов в современном производстве, понятия fab, fabless производств. FEOL и BEOL процессы (этапы) производства, операции, входящие в них.

Формируемые компетенции

- готовность организовывать метрологическое обеспечение производства материалов и изделий электронной техники (ПК-9);

- способность выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники (ПК-8)

Образовательные результаты

знать:

- физико-технологические основы процессов производства изделий электронной компонентной базы, особенности проведения отдельных технологических операций;- базовые технологии изготовления ИМС на биполярных и МОП транзисторах и особенности их реализации;
- конструктивно-технологические варианты сборки, монтажа и герметизации ИМС;
- классификацию оборудования производства изделий твердотельной микроэлектроники, требования к такому оборудованию, основные характеристики оборудования и перечень мировых производителей соответствующего оборудования.

уметь:

- рассчитать физико-технологические условия для проведения отдельных технологических процессов для получения активных и пассивных элементов электронной компонентной базы с требуемыми конструктивными и электрофизическими параметрами;
- работать в коллективе (малых группах) при решении профессиональных задач;
- составлять профильные и спиральные схемы технологических процессов изготовления ИМС;
- составлять маршрутные карты технологических процессов изготовления ИМС;
- выбирать оборудование для выполнения конкретных операций технологического процесса исходя из требований к размерам и параметрам формируемых структур.

владеть:

- методиками контроля и анализа процессов электронной компонентной базы
- информацией об областях применения и перспективах развития различных функциональных узлов и устройств современной электроники;
- навыками чтения маршрутных карт, профильных технологических схем технологий изготовления ИМС;
- навыками составления маршрутных карт, профильных технологических схем маршрутов изготовления ИМС;
- навыками выбора оборудования для решения конкретных технологических задач.

Взаимосвязь дисциплины с профессиональной деятельностью выпускника

Освоение дисциплины обеспечивает решение выпускником задач будущей профессиональной деятельности в следующих областях: производственно-технологической, научно-исследовательской.

Ответственная кафедра

Кафедра технологии приборов и материалов электронной техники

Начальник УМУ _____



Н.Е. Гордина