

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет радиотехники и электроники

“УТВЕРЖДАЮ”

Декан РЭФ

профессор, д.т.н. Хрусталева
Владимир Александрович

“ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Технология микросистем

ООП: специальность 210108.65 Микросистемная техника

Шифр по учебному плану: СД.Ф.5

Факультет: радиотехники и электроники очная форма обучения

Курс: 4, семестр: 7 8

Лекции: 78

Практические работы: 18 Лабораторные работы: 30

Курсовой проект: - Курсовая работа: - РГЗ: -

Самостоятельная работа: 20

Экзамен: 8 Зачет: 7

Всего: 170

Новосибирск

2011

Рабочая программа составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению (специальности): 210100 Электроника и микроэлектроника.(№ 737 тех/сп от 18.01.2006)

СД.Ф.5, дисциплины федерального компонента

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Полупроводниковых приборов и микроэлектроники протокол № 4 от 24.05.2011

Программу разработал

доцент, к.т.н.

Бердинский Александр Серафимович

Заведующий кафедрой

, д.ф.м.н.

Гайслер Владимир Анатольевич

Ответственный за основную образовательную программу

, д.ф.м.н.

Гайслер Владимир Анатольевич

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Шифр дисциплины	Содержание учебной дисциплины	Часы
СД.Ф.5	Требования ГОС для подготовки дипломированного специалиста по специальности 210108 "Микросистемная техника". Организационно-технологические основы производства элементной базы микроэлектроники, микроэлектромеханики, микрооптики; базовые технологические операции нанесения, удаления и модифицирования материалов, литографические процессы; специальные технологические операции поверхностной микромеханики: "жертвенные" слои, избирательное травление; специальные технологические операции объемной микромеханики: ориентационно-чувствительное жидкостное и высокопроизводительное сухое ионно-плазменное травление, стоп-слои; LIGA-технология: синхротронное излучение, гальванопластика, микропрессование, корпускулярно-лучевое формообразование: микростеолитография, лазерное осаждение и полимеризация; процессы сборки микросистем; производственная гигиена: чистота материалов и помещений; ЕСТД и её применение; системный подход к управлению качеством продукции; эксплуатация и сервисное обслуживание технологического оборудования.	170

2. Особенности (принципы) построения дисциплины

Таблица 2.1

Особенности (принципы) построения дисциплины

Особенность (принцип)	Содержание
Основания для введения дисциплины в учебный план по направлению или специальности	Требования ГОС для подготовки дипломированного специалиста по специальности 210108 "Микросистемная техника" по направлению 210100 "Электроника и микроэлектроника". ГОС утвержден 18 января 2006 г. Регистрационный № 737 тех/сп.
Адресат курса	Специальность 210108 "Микросистемная техника" направления подготовки дипломированного специалиста 210100 "Электроника и микроэлектроника" Квалификация - инженер
Основная цель (цели) дисциплины	Сформировать знания студентов по классификации, технологии изготовления, назначению и применению элементной базы микроэлектроники, микроэлектромеханики, микрооптики; физико-химической сущности технологических процессов, определяющих свойства элементной базы микроэлектроники, микроэлектромеханики, микрооптики; материалов для изготовления элементной базы

	микроэлектроники, микроэлектромеханики, микрооптики; современных методов нанотехнологии, применяемых для изготовления элементной базы микроэлектроники, микроэлектромеханики, микрооптики.
Ядро дисциплины	Физико-технологические принципы создания важнейших компонент микросистемной техники создаваемых на базе технологии микроэлектроники, микромеханики и микрооптики.
Связи с другими учебными дисциплинами основной образовательной программы	Технология материалов, технология интегральных схем, химия, полупроводниковые приборы.
Требования к первоначальному уровню подготовки обучающихся	Особенность курса - междисциплинарный характер. Необходимы предварительные знания по физике полупроводников, полупроводниковых приборов и элементной базы микроэлектроники, по технологии полупроводниковых материалов, микросхемотехнике и компьютерному моделированию.
Особенности организации учебного процесса по дисциплине	Для организации самостоятельной работы студентов используются учебные пособия в печатной и электронной формах. Студенты имеют возможность работы на компьютере вне часов по расписанию.

3. Цели учебной дисциплины

Таблица 3.1

После изучения дисциплины студент будет

иметь представление	
1	О тенденциях развития компонент микросистем, использующих технологию микроэлектроники. О классификации микросистем, сенсоров и актюаторов по свойствам и техническому назначению.
2	О новейших методах получения, экспериментального исследования и характеристики микросистем, сенсоров и актюаторов. О взаимосвязи микросистемной техники со схемотехническими и технологическими достижениями микроэлектроники.
3	О новейших направлениях технологии микросистемной техники.
4	Об основных эксплуатационных характеристиках микросистем, сенсоров и актюаторов при использовании их в современной электронной аппаратуре. О тенденциях развития мирового рынка сенсоров, актюаторов и современных микросистем.
знать	
5	Понятийный аппарат (терминологию) дисциплины. Физико-технологические принципы создания и работы сенсоров механических, тепловых, магнитных, химических и радиационных величин.
6	Физическую, химико-физическую и технологическую сущность процессов, протекающих при изготовлении микросистем. Влияние технологии изготовления на свойства и параметры различных групп микросистем, сенсоров и актюаторов.
7	Связь технологии изготовления и основных метрологических характеристики важнейших типов микросистем, сенсоров и актюаторов.
8	Основные характеристики сенсоров и технологические методы их изготовления. Основные технологические факторы, влияющие на параметры микросистем и технологические приемы, улучшающие свойства микросистем.
9	Методы расчета технологических режимов изготовления элементной базы микроэлектроники и микросистем.
10	Методы проектирования технологии микросистем, сенсоров и актюаторов.
11	Основные физико-химические явления, используемые для создания элементов микросистем.
12	Процессы сборки микросистем; производственную гигиену: чистоту материалов и помещений; ЕСТД и её применение; системный подход к управлению качеством продукции; эксплуатацию и сервисное обслуживание технологического оборудования.
уметь	
13	Выбирать практические варианты технологии изготовления микросистем, сенсоров и актюаторов для решения инженерных задач. Использовать основы физики, химии и теории твердого тела для постановки и решения задач описания технологических процессов для изготовления микросистем, сенсоров и актюаторов.

14	Выдвигать и проверять гипотезы, делать обоснованный выбор методов изготовления и исследования свойств микросистем, сенсоров и актюаторов. Использовать технологические приемы улучшения параметров микросистем, сенсоров и актюаторов с необходимыми метрологическими характеристиками.
15	Проектировать технологию микросистем, сенсоров и актюаторов с учетом особенностей требуемых выходных величин. Использовать справочный материал по разработке технологии выбранных или требуемых сенсоров и актюаторов для конкретных микросистем.
16	Проводить сквозное конструкторско-технологическое проектирование интеллектуальных микросистем, сенсоров и актюаторов.
иметь опыт (владеть)	
17	Проектирования технологии элементной базы микроэлектроники, микросистем, сенсоров и актюаторов.
18	Сборки микросистем; работы в лабораторных и производственных условиях; к системному подходу по управлению качеством продукции; эксплуатации и сервисному обслуживанию технологического оборудования.

4. Содержание и структура учебной дисциплины

Лекционные занятия

Таблица 4.1

(Модуль), дидактическая единица, тема	Часы	Ссылки на цели
Семестр: 7		
Модуль: Введение в технологию микромеханических устройств		
Дидактическая единица: Организационно-технологические основы производства элементной базы микроэлектроники, микроэлектромеханики, микрооптики		
Введение. Микросистемная техника - новое техническое направление. История и основные этапы развития. Связь с микроэлектроникой и основные особенности микросистемной техники.	2	1, 5
Элементы и компоненты микросистемной техники. МЭМС, НЭМС, МЭОМС, НЭОМС, сенсоры и актюаторы: области применения и тенденции развития. Классификация сенсоров. Физико-химические принципы действия сенсорных систем. Примеры.	2	1, 3, 5
Модуль: Физико-технологические и организационно-технологические основы элементной базы микроэлектроники, микромеханики и микрооптики		
Дидактическая единица: Организационно-технологические основы производства элементной базы микроэлектроники, микроэлектромеханики, микрооптики		

Материалы интегральной электроники. Материалы для микромеханических и микрооптических устройств. Свойства и физические параметры полупроводниковых, диэлектрических, проводящих и полимерных материалов, используемых в микросистемной технике. Кремний - основной материал микросистемной техники. Свойства и технологические особенности кремния.	2	3, 6, 7
Получение металлургического и кремния. Получение электронного кремния. Метод Чохральского и БЗП. Технология получения кремниевых пластин. Классификация и параметры кремниевых пластин. Контроль параметров кремниевых пластин.	2	5, 6, 7
Элементная база микросистемных устройств: биполярные и МОП-транзисторы. Пассивные интегральные элементы: резисторы, конденсаторы, индуктивности. Примеры технологической реализации. Расчет и конструирование интегральных диффузионных и имплантированных резисторов. Расчет и конструирование микроэлектронных конденсаторов и индуктивностей.	3	16, 17, 7, 9
Дидактическая единица: Базовые технологические операции нанесения, удаления и модифицирования материалов.		
Технологические разновидности выращивания эпитаксиальных слоев. Газо-фазная и жидко-фазная эпитаксия. Выращивание эпитаксиальных слоев кремния из газовой фазы. Процессы в приграничном слое кремниевой пластины в реакторе. Химическая кинетика роста эпитаксиальных пленок кремния.	2	10, 11, 6, 7, 9
Легирование и автолегирование эпитаксиальных пленок кремния. Технологическое оборудование эпитаксиального роста. Выбор оптимальной технологии. Эпитаксиальные дефекты.	2	11, 13, 15, 17, 3, 5, 6, 7, 9
Технология и оборудование молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Конструкции эффузионных ячеек. Механизмы роста МЛЭ-пленок: Волмера-Вебера; Странски-Крастанова; Франка ван дер Мерве. Контроль роста МЛЭ-пленок. Метод ДБЭ. Применение МЛЭ для получения квантовых точек, транзисторов с высокой подвижностью электронов (ТВПЭ), высокотемпературных сверхпроводников и структур с гигантским магнитосопротивлением	2	1, 11, 2, 6
Термическое окисление кремния. Физико-химические свойства и структура пленок диоксида кремния. Технологические режимы и оборудование термического окисления кремния. Быстрое термическое окисление кремния. Механизм роста термического окисла. Модель Дила-Гроува роста термического окисла. Особенности окисления в	2	10, 11, 15, 17, 6, 7, 9

сухом и влажном кислороде, и в парах воды.		
Сегрегация примесей на границе раздела SiO ₂ /Si. Особенности роста окисных пленок на внешних и внутренних углах ступеньки на кремниевой подложке. LOCOS-технология. Технология термического окисления глубоких и неглубоких изолирующих канавок. Методы определения толщины окисной пленки.	2	13, 15, 17, 2, 3, 5, 6, 7, 9
Термическая диффузия примеси в кремний. Модели диффузии в твердом теле. Одномерное уравнение Фика. Расчет профилей легирования из неограниченного и ограниченного источника примеси. Расчет режимов двухстадийной диффузии. Влияние электрического поля и концентрации примеси в подложке на процесс диффузии.	3	11, 13, 15, 17, 3, 6, 7, 8, 9
Технология и оборудование получения диффузионных p-n переходов. Технологические погрешности полупроводниковых элементов, сформированных методом диффузии. Контроль параметров диффузионных слоев. Диффузия примесей в SiO ₂ и поликристаллическом кремнии. Ускорение и замедление процессов диффузии.	2	11, 13, 16, 17, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9
Ионная имплантация примесей в полупроводники. Оборудование для проведения процесса ионной имплантации. Преимущества и недостатки ионной имплантации. Расчет распределения внедренных ионов. Параметры, характеризующие распределение внедренных ионов: проецированная длина пробега, проецированное и боковое рассеяние. Приближение Пирсона для расчета профилей легирования. Особенности распределения Sb, As, P, B в кремнии.	3	10, 11, 13, 15, 17, 6, 7, 8
Теория ионного торможения ЛШШ. Зависимость проецированной длины пробега, проецированного и бокового рассеяния от энергии ионов для B, P, As, внедряемых в Si и SiO ₂ . Эффект каналирования. Образование радиационных дефектов. Изохронный и изотермический отжиг радиационных дефектов. Диффузия имплантированной примеси при отжиге. Быстрый лазерный отжиг. Использование ионной имплантации для геттерирования нежелательных примесей и дефектов.	2	11, 13, 15, 17, 3, 6, 7
Фотолитография. Позитивные и негативные фоторезисты. Технологический процесс фотолитографии. Взрывная фотолитография. Фотолитографические системы: контактная, с микрозазором, проекционная и их разрешающая способность. Пути улучшения разрешающей способности и качества передачи изображения. Источники излучения используемые в фотолитографических системах. Иммерсионная фотолитография.	2	11, 6, 7, 9
Влажное травление кремния. Параметры травления	2	10, 11, 12, 3,

и их зависимость от внешних факторов. Изотропное травление. Со-ставы для травления кремния, проводящих и диэлектрических пленок. Химическая кинетика изотропного травления. Кривые изотропного травления. Преимущества и недостатки изотропного травления. Использование влажного травления для очистки кремниевых пластин.		6, 7
Анизотропное травление кремния. Анизотропные травители для кремния. Особенности травления плоскостей (100), (110) и (111). Особенности травления внешних и внутренних углов. Зависимость скорости травления от концентрации примеси в подложке и температуры травителя. Стоп-травление. Примеры использования анизотропного травления при создании микросистем.	2	10, 11, 6, 7, 8, 9
Технологии сухого травления. Виды сухого травления: газо-фазное, плазменное, реактивное ионное, распыление. Газо-фазное изотропное травление в XeF_2 . Плазменное травление. Способы создания плазмы. Разновидности систем и оборудование плазменного травления. Газы, используемые в плазменном травлении. Физические и химические явления в газовых разрядах. Зависимость скорости травления и селективности от состава газовой среды. Создание пассивирующих полимерных пленок. Травление пленок полиимида.	2	11, 13, 2, 6, 7, 8
Реактивное ионное травление (RIE) и глубокое реактивное ионное травление (DRIE). Оборудование RIE и DRIE - тех-нологий. Высокочастотная диодная система для RIE. Меха-низмы анизотропии RIE. Преимущества и недостатки RIE и DRIE. Травление диоксида кремния, нитрида кремния, поли-кристаллического кремния, силицидов тугоплавких метал-лов и алюминия. Примеры микромеханических систем по-лученных по DRIE - технологии.	2	11, 13, 15, 6, 7
Аддитивные технологии нанесения тонких пленок. Термическое вакуумное испарение. Технология напыления. Сравне-ние технологии испарения и напыления. Лазерное напыление. Ионное кластерное напыление. Ионное напыление.	2	11, 15, 5, 6, 7
CVD-процессы. Физико-химические процессы в CVD-реакторах. Конструкции CVD-реакторов. Особенности по-крытия ступенек. Разновидности CVD-процессов: TCVD, APCVD, LPCVD, VLPCVD, PECVD, Photon-assisted CVD, Laser-assisted CVD, MOCVD.	2	10, 11, 3, 6
Плазмохимическое осаждение пленок диоксида кремния, нитрида кремния и поликристаллического кремния. Оборудование плазмохимического	2	10, 17, 3, 6

осаждения. Параметры плазмо-химического осаждения и структура пленок		
Электрохимическое осаждение металлических пленок. Термодинамика электрохимического осаждения. Кинетический активационный и диффузионный контроль электрохимических реакций. Нелинейные диффузионные эффекты. Заключительная лекция.	2	10, 13, 15, 3, 6, 9
Дидактическая единица: Базовые литографические процессы.		
Литографические процессы нового поколения: экстремальная УФ, электронно-лучевая, рентгеновская, ионно-лучевая литография. Электроно- и рентгенорезисты. Устройство электронно-лучевого сканирующего микроскопа. Источники электронов. Проекционная электронно-лучевая литография с угловым ограничением рассеянных электронов (SCALPEL). Синхротронное излучение, рентгеновские шаблоны.	3	13, 14, 15
Ионно-проекционная литография. Понятие о "мягкой" литографии. Микроконтактная и наноконтактная литография. Микрозондовая AFM - литография с использованием самоорганизующегося слоя. (Dip pen lithography). Многозондовая AFM-литография (Milliped lithography). Квантовая (двухфотонная) литография.	2	11, 13, 14, 15, 3
Семестр: 8		
Модуль: Физико-технологические и организационно-технологические основы элементной базы микроэлектроники, микромеханики и микроптики		
Дидактическая единица: Организационно-технологические основы производства элементной базы микроэлектроники, микроэлектромеханики, микрооптики		
Материалы совместимые с кремниевой технологией. Свойства и физические параметры пленок SiO ₂ , Si ₃ N ₄ . Металлические пленки. Полиимидные и фоторезистивные пленки.	1	11, 14, 15, 5, 6, 8
Физические эффекты, наиболее часто используемые в МЭМС: пьезорезистивный, пьезоэлектрический и термоэлектрический. Обзор физико-химических эффектов, используемых в микро- и наносистемах.	1	1, 10, 3, 4, 7
Технология анодного соединения кремния со стеклом. Технология прямого сращивания кремниевых пластин. Подготовка пластин: шлифование, полирование, химико-механическая полировка.	1	11, 12, 13, 6, 7
Комбинированная технология прямого сращивания кремниевых пластин и DRIE. DRIE-технология на КНИ структу-рах. SCREAM-процесс.	2	10, 11, 2, 3, 4, 6
Технология изготовления актюаторов. Физические	2	1, 12, 13, 15,

принципы, лежащие в основе работы актюаторов: пьезорезистивный, электростатический, температурный, магнитный, электромагнитные и памяти формы. Технология изготовления пассивных микромеханических систем: сопел, микроканалов, микрошарниров		18, 2, 3
Технология изготовления сенсоров давления, пьезорезистивных и емкостных акселерометров. Технология изготовления сенсоров угловой скорости. Технология изготовления головок струйных принтеров микроклапанов и микронасосов. Технология изготовления микросистем дозирования и циркуляции жидкостей.	2	1, 11, 16, 17, 18, 2, 3
Основы технологии сборки микросистем. Методы сборки, герметизации и защиты чипов. Разновидности и конструкции корпусов для элементной базы микросистем.	2	10, 12, 15, 16, 18, 2, 3
Производственная гигиена, чистота материалов и помещений. ЕСТД и ее применение. Системный подход к управлению качеством продукции. Эксплуатация и сервисное обслуживание технологического оборудования.	2	13, 15, 16, 18, 3, 6, 7
Дидактическая единица: Базовые технологические операции нанесения, удаления и модифицирования материалов.		
Материалы и подложки отличные от кремния. Подложки из стекла и плавленого кварца. Подложки и пленки карбида кремния. Алмазные пленки и подложки. Пленки и подложки АЗВ5. Полимерные пленки и подложки. Материалы с памятью формы.	1	11, 13, 2, 3, 6, 7
Обзор базовых технологических методов получения МЭМС. Spin-on метод. Использование толстых резистов. Особенности распределения резиста на рельефных поверхностях. Двухсторонняя фотолитография.	1	1, 11, 2, 3, 6, 7
Обзор методов травления. Изотропное и анизотропное травление. Электрохимическое травление. Диодное стоп-травление	1	10, 11, 3, 5, 6, 7
Плазменное травление. Понятие аспектного отношения. Глубокое реактивное ионное травление (ГРИТ). Формирование глубоких профилей методом ГРИТ. Зависимость скорости травления от ширины канавки и аспектного отношения.	1	11, 13, 15, 16, 3, 6, 7, 8
Золь-гель метод осаждения пленок. Технология электрохимического осаждения пленок. Технология микропрессования. LIGA- процесс.	1	11, 13, 14, 15, 17, 3
Понятие о жертвенном слое. Методы удаления жертвенного слоя и проблема прилипания при его удалении. Сверхкритическая сушка. Использование самосборочных монослоев. Использование	2	11, 3, 5, 6, 7, 8

эпоксидных фоточувствительных смол и стекол в микромашиной технологии.		
Нелитографические методы в микромашиной технологии. Технология прецизионной механической обработки. Лазерная и электроискровая обработка. Трафаретная печать. Микро-и наноконтактная печать. Горячая чеканка.	2	11, 13, 2, 3, 6, 7
Основные материалы используемые в поверхностной микромашинной технологии. Использование поликристаллического кремния в микромашинной технологии. Технология изготовления микрошарнира на основе поликристаллического кремния для микрооптических устройств	2	11, 12, 14, 15

Практические занятия

Таблица 4.2

(Модуль), дидактическая единица, тема	Учебная деятельность	Часы	Ссылки на цели
Семестр: 7			
Модуль: Введение в технологию микромеханических устройств			
Дидактическая единица: Организационно-технологические основы производства элементной базы микроэлектроники, микроэлектромеханики, микрооптики			
Характеристики и параметры кремниевых слитков и пластин. Расчет концентрации примеси при выращивании монокристаллов кремния. Контроль параметров кремниевых пластин. Расчет удельного сопротивления кремниевых пластин.	Практическое занятие	2	1, 11, 4, 5
Модуль: Физико-технологические и организационно-технологические основы элементной базы микроэлектроники, микромеханики и микрооптики			
Дидактическая единица: Базовые технологические операции нанесения, удаления и модифицирования материалов.			
Расчет технологических параметров роста эпитаксиальных пленок кремния.	Практическое занятие	2	11, 14, 17, 6, 7, 9
Расчет технологических режимов получения пленок SiO ₂ в сухом и влажном кислороде и в парах воды.	Практическое занятие	2	10, 15, 6, 7, 9
Расчет технологических режимов	Практическое занятие	2	14, 15, 17,

двух-стадийной диффузии.			6, 7, 9
Расчет технологических режимов ионной имплантации.	Практическое занятие	2	10, 14, 15, 16, 17, 9
Анализ оптических систем фотолитографии.	Практическое занятие	2	10, 15, 16, 17, 8, 9
Проектирование топологии диффузионных и ионно-имплантированных резисторов.	Практическое занятие под руководством преподавателя.	3	14, 15, 16, 17, 6, 7, 8, 9
Расчет технологических режимов термического вакуумного испарения.	Практическое занятие	3	10, 14, 15, 16, 17, 6, 7, 8, 9

Лабораторная работа

Таблица 4.3

(Модуль), дидактическая единица, тема	Учебная деятельность	Часы	Ссылки на цели
Семестр: 7			
Модуль: Физико-технологические и организационно-технологические основы элементной базы микроэлектроники, микромеханики и микроптики			
Дидактическая единица: Базовые технологические операции нанесения, удаления и модифицирования материалов.			
Химическое травление пластин кремния.	Лабораторная работа под руководством преподавателя.	4	11, 12, 18, 6, 7, 8
Термическое окисление кремниевых пластин в сухом и влажном кислороде.	Лабораторная работа под руководством преподавателя.	4	11, 12, 13, 15, 6, 7, 9
Метод вакуумного напыления.	Лабораторная работа под руководством преподавателя.	4	11, 12, 17, 18, 6, 7
Дидактическая единица: Базовые литографические процессы.			
Фотолитография в производстве полупроводниковых приборов и интегральных схем.	Лабораторная работа под руководством преподавателя.	4	11, 12, 13, 17, 18, 3, 7, 9
Дидактическая единица: Организационно-технологические основы производства элементной базы микроэлектроники, микроэлектромеханики, микрооптики			
Изучение работы микроскопа МИИ-4. Определение толщины пленок интерференционным методом.	Лабораторная работа под руководством преподавателя\	2	11, 12, 18, 4, 6, 7
Семестр: 8			
Семестр: 8			

Семестр: 8			
Модуль: Физико-технологические и организационно-технологические основы элементной базы микроэлектроники, микромеханики и микроптики			
Дидактическая единица: Базовые технологические операции нанесения, удаления и модифицирования материалов.			
Анизотропное травление кремния. Электрохимические процессы при анизотропном травлении в КОН.	Лабораторная работа под руководством преподавателя	4	11, 12, 13, 15, 17, 18
Термическая диффузия бора и определение глубины p-n перехода.	Лабораторная работа	4	11, 12, 13, 17, 18, 6, 7, 9
Технология анодного соединения кремний-стекло.	Лабораторная работа под руководством преподавателя.	4	11, 12, 16, 17, 18, 3, 6, 7

5. Самостоятельная работа студентов

Семестр- 7, Подготовка к зачету

7-й семестр:

Подготовка к зачету - 1 час

Индивидуальная работа -12 часов

Подготовка к занятиям - 1 час

Итого: Самостоятельная работа в 7-м семестре -2 часа; Индивидуальная работа в 7-м семестре -12 часов.

Темы для углубленной индивидуальной работы:

Расчет технологических режимов роста монокристаллов кремния по методу Чохральского.

Расчет технологических параметров роста эпитаксиальных пленок кремния

Расчет технологических режимов получения пленок SiO₂ в сухом и влажном кислороде и в парах воды.

Расчет технологических режимов двух-стадийной диффузии.

Расчет технологических режимов ионной имплантации.

Анализ оптических систем фотолитографии.

Проектирование топологии диффузионных и ионно-имплантированных резисторов.

Расчет технологических режимов термического вакуумного испарения.

Семестр- 7, Индив. работа

7-й семестр:

Подготовка к зачету - 1 час

Индивидуальная работа -12 часов

Подготовка к занятиям - 1 час

Итого: Самостоятельная работа в 7-м семестре -2 часа; Индивидуальная работа в 7-м семестре -12 часов.

Темы для углубленной индивидуальной работы:

Расчет технологических режимов роста монокристаллов кремния по методу Чохральского.

Расчет технологических параметров роста эпитаксиальных пленок кремния

Расчет технологических режимов получения пленок SiO₂ в сухом и влажном кислороде и в парах воды.

Расчет технологических режимов двух-стадийной диффузии.

Расчет технологических режимов ионной имплантации.

Анализ оптических систем фотолитографии.

Проектирование топологии диффузионных и ионно-имплантированных резисторов.

Расчет технологических режимов термического вакуумного испарения.

Семестр- 7, Подготовка к занятиям

7-й семестр:

Подготовка к зачету - 1 час

Индивидуальная работа -12 часов

Подготовка к занятиям - 1 час

Итого: Самостоятельная работа в 7-м семестре -2 часа; Индивидуальная работа в 7-м семестре -12 часов.

Темы для углубленного понимания технологии:

Технологические режимы роста монокристаллов кремния по методу Чохральского.

Технологические параметры роста эпитаксиальных пленок кремния

Технологические режимы получения пленок SiO₂ в сухом и влажном кислороде и в парах воды.

Технологические режимы двух-стадийной диффузии.

Технологические режимы ионной имплантации.

Анализ оптических систем фотолитографии.

Проектирование топологии диффузионных и ионно-имплантированных резисторов.

Технологические режимы термического вакуумного испарения.

Семестр- 8, Контрольные работы

8-й семестр:

Контрольные работы - 4 часа

Индивидуальная работа - 12 часов

Подготовка к занятиям - 14 часов

Итого: Самостоятельная работа в 8-м семестре -18 часов; Индивидуальная работа в 8-м семестре - 12 часов.

Вопросы для проведения контрольных работ:

1. Материалы, используемые в технологии микросистем. Свойства материалов и физические эффекты, используемые в микросистемах.
2. Фоточувствительные эпоксидные композиции. Фоточувствительные стекла.
3. Базовые технологические процессы, используемые в технологии микросистем.
4. Литографические процессы. Двухсторонняя литография.
5. Нелитографические методы нанесения рисунка.
6. Микроконтактная печать.
7. Нано-импринт литография.

8. УЗ-метод получения профилей.
9. Жидкостное и сухое травление в технологии микросистем.
10. Стоп-травление и диодное стоп-травление.
11. Материалы и процессы поверхностной микромашиной технологии.
12. Проблема прилипания и методы ее решения.
13. Сверхкритическая сушка.
14. Самосборочные монослои.
15. Анодное соединение кремний-стекло.
16. Прямое сращивание кремниевых пластин.
17. Шлифование, полирование и ХМП кремниевых пластин.
18. Золь-гель технология.
19. LIGA-процесс.
20. Комбинированная технология прямого сращивания и реактивного ионного травления.
21. Использование глубокого реактивного ионного травления на КНИ- структурах.
22. SCREAM-процесс.
23. Актюаторы. Физические эффекты, используемые в актюаторах.
24. Технология изготовления сенсоров давления на повышенный диапазон температур.
25. Сенсоры для измерения скорости потока и расхода жидкостей и газов.
26. Пьезорезистивные и емкостные акселерометры.
27. Сенсоры угловой скорости и гироскопы.
28. Устройство и технология изготовления микроклапанов.
29. Устройство и технология изготовления микронасосов.
30. Газовый сенсор на CO.
31. Устройство и технология изготовления головки струйного принтера.
32. Технология изготовления микросопел.
33. Технология изготовления микрошарниров.
34. ИК-сенсоры. Материалы и технология изготовления.
35. Технология изготовления проекционных дисплеев и микрозеркал с цифровым управлением.
36. Технология изготовления приборов волоконно-оптической связи.
37. Технология изготовления дисплеев с дифракционными решетками.
38. Микросистемы для лазеров с перестраиваемой длиной волны.
39. Цифровые M x N оптические переключатели и технология их изготовления.
40. Материалы и процессы получения систем с микроциркуляцией жидкостей.
Системы Lab-on-chip для биологического анализа.

Семестр- 8, Индив. работа

8-й семестр:

Контрольные работы - 4 часа

Индивидуальная работа - 12 часов

Подготовка к занятиям - 14 часов

Итого: Самостоятельная работа в 8-м семестре -18 часов; Индивидуальная работа в 8-м семестре - 12 часов.

Индивидуальная работа заключается в углубленном изучении следующих тем:

1. Физические эффекты, наиболее часто используемые в МЭМС.
2. Двухсторонняя фотолитография.

3. Глубокое реактивное ионное травление (ГРИТ).
4. Технология анодного соединения кремния со стеклом.
5. Технология прямого сращивания кремниевых пластин.
6. Золь-гель метод осаждения пленок.
7. Технология электрохимического осаждения пленок.
8. LIGA- процесс.
9. Сверхкритическая сушка. Использование самосборочных монослоев.
10. Микро-и наноконтактная печать.
11. SCREAM-процесс.
12. Технология изготовления актюаторов.
13. Технология изготовления пассивных микромеханических систем: сопел, микроканалов, микрошарниров.
14. Технология изготовления сенсоров давления, пьезорезистивных и емкостных акселерометров.
15. Технология изготовления сенсоров угловой скорости.
16. Технология изготовления головок струйных принтеров микроклапанов и микронасосов.
17. Технология изготовления микросистем дозирования и циркуляции жидкостей.
18. Технологии сборки микросистем. Методы сборки, герметизации и защиты чипов.
19. Разновидности и конструкции корпусов для элементной базы микросистем.
20. Производственная гигиена, чистота материалов и помещений. ЕСТД и ее применение.
21. Системный подход к управлению качеством продукции.
22. Эксплуатация и сервисное обслуживание технологического оборудования.

Семестр- 8, Подготовка к занятиям

8-й семестр:

Контрольные работы - 4 часа

Индивидуальная работа - 12 часов

Подготовка к занятиям - 14 часов

Итого: Самостоятельная работа в 8-м семестре -18 часов; Индивидуальная работа в 8-м семестре - 12 часов.

Подготовка к занятиям подразумевает подготовку студентов в более устойчивому усвоению лекционного материала в соответствии с темами лекций данных лектором на 1-й лекции в начале 8-го семестра.

Основные темы лекций входят в список тем для индивидуальной работы:

1. Физические эффекты, наиболее часто используемые в МЭМС.
2. Двухсторонняя фотолитография.
3. Глубокое реактивное ионное травление (ГРИТ).
4. Технология анодного соединения кремния со стеклом.
5. Технология прямого сращивания кремниевых пластин.
6. Золь-гель метод осаждения пленок.
7. Технология электрохимического осаждения пленок.
8. LIGA- процесс.
9. Сверхкритическая сушка. Использование самосборочных монослоев.
10. Микро-и наноконтактная печать.
11. SCREAM-процесс.
12. Технология изготовления актюаторов.
13. Технология изготовления пассивных микромеханических систем: сопел, микроканалов, микрошарниров.
14. Технология изготовления сенсоров давления, пьезорезистивных и емкостных акселерометров.
15. Технология изготовления сенсоров угловой скорости.

16. Технология изготовления головок струйных принтеров микроклапанов и микронасосов.
17. Технология изготовления микросистем дозирования и циркуляции жидкостей.
18. Технологии сборки микросистем. Методы сборки, герметизации и защиты чипов.
19. Разновидности и конструкции корпусов для элементной базы микросистем.
20. Производственная гигиена, чистота материалов и помещений. ЕСТД и ее применение.
21. Системный подход к управлению качеством продукции.
22. Эксплуатация и сервисное обслуживание технологического оборудования.

6. Правила аттестации студентов по учебной дисциплине

Зачет в 7-м семестре.

РЕЙТИНГОВАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ С ЗАЧЕТОМ

"Технология микросистем", 4 курс, 7 семестр, специальность "Микросистемная техника"

Вид деятельности	Число баллов
1. Активность на занятиях (выставляется в конце 7-ой и 13-ой недели): 0-4	$(0-2) + (0-2) =$
2. Посещаемость лекций:	0 - 12
3. Посещаемость практических занятий:	0 - 4
4. Лабораторные работы (4):	0 - 5
Итого по лаб. работам:	0 - 20
Пункты 1 - 4:	Всего не более 40
5. Индивидуальная работа:	20
Всего по пунктам 1 - 5:	60
6. Зачет:	
постановка задачи и качественный анализ результата	20
+ количественное обоснование результата	10
+дополнительные вопросы по теме билета	10
Всего не более:	100

Минимальная удовлетворительная итоговая аттестация по БРС для допуска к зачету - 40.

До сдачи зачета не допускаются студенты не сдавшие 4 лабораторные работы.

Если набрано менее 40 баллов, то для допуска к зачету проводится собеседование по индивидуальной работе, оцениваемое в (0-10) баллов.

Зачет по дисциплине носит теоретический характер. Зачет проводится в комбинированной форме: студент отвечает письменно на 2 теоретических вопроса и, при необходимости, может быть проведено дополнительное устное собеседование.

Минимальное количество баллов для получения зачета - 50 баллов, что соответствует минимальной оценке "Е" "удовлетворительно"

Экзамен в 8-м семестре.

РЕЙТИНГОВАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ С ЭКЗАМЕНОМ

"Технология микросистем", 4 курс, 8 семестр, специальность "Микросистемная техника"

Вид деятельности	Число баллов
1. Активность на занятиях (выставляется в конце 7-ой и 13-ой недели):	(0-2) + (0-2) =
0-4	
2. Посещаемость лекций:	0 - 12
3. Лабораторные работы (3):	0 - 6
Итого по лаб. работам:	0 - 18
Пункты 1 - 3:	Всего не более 40
4. Индивидуальная работа:	20
Всего по пунктам 1 - 4:	60
5. Экзамен:	
постановка задачи и качественный анализ результата	20
+ количественное обоснование результата	10
+ дополнительные вопросы по теме билета	10
Всего не более:	100

Минимальная удовлетворительная итоговая аттестация по БРС для допуска к экзамену - 40.

До сдачи экзамена не допускаются студенты не сдавшие 3 лабораторные работы и не выполнившие контрольные работы.

Если набрано менее 40 баллов, то для допуска к экзамену проводится собеседование по индивидуальной работе, оцениваемое в (0-10) баллов.

Экзамен по дисциплине носит теоретический характер. Экзамен проводится в комбинированной форме: студент отвечает письменно на 2 теоретических вопроса и, при необходимости, может быть проведено дополнительное устное собеседование.

Минимальное количество баллов для аттестации по экзамену - 50 баллов, что соответствует минимальной оценке "Е" "удовлетворительно"

7. Список литературы

7.1 Основная литература

В печатном виде

1. Джексон Р. Г. Новейшие датчики / Р. Г. Джексон ; пер. с англ. В. В. Лучинина. - М., 2007. - 380 с. : ил.
2. Пул Ч. Нанотехнологии : учебное пособие по направлению подготовки "Нанотехнологии" / Ч. Пул-мл., Ф. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина ; доп. В. В. Лучинина. - М., 2006. - 334 с. : ил.
3. Медведев А. М. Сборка и монтаж электронных устройств / А. Медведев. - М., 2007. - 255 с. : ил., табл.

7.2 Дополнительная литература

В печатном виде

1. Технология СБИС. В 2 кн.. Кн. 1 / Пирс К. [и др.] ; под ред. С. Зи ; пер. с англ. В. М. Звероловлева [и др.]. - М., 1986. - 404 с. : ил., табл.
2. Лучинин В. В. Введение в индустрию наносистем / В. В. Лучинин // Нано- и микросистемная техника. - 2007. - № 8. - С. 2 - 7..
3. Технология СБИС. В 2 кн.. Кн. 2 / Пирс К., Адамс А., Кац Л. и др. ; под ред. Чистякова Ю. Д. - М., 1986. - 453 с. : ил.

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

В печатном виде

1. Каменская А. В. Основы технологии материалов микроэлектроники : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 94, [1] с.

В электронном виде

1. Каменская А. В. Основы технологии материалов микроэлектроники : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 94, [1] с.. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2010/kamensk.pdf>

9. Контролирующие материалы для аттестации студентов по дисциплине

Вопросы к зачету в 7-м семестре:

1. Понятие о сенсорах актюаторах. Физические эффекты, лежащие в основе работы сенсоров и актюаторов.
2. Кремний, как основной материал для сенсорной электроники. Основные технологические этапы получения кремниевых пластин. Контроль параметров кремниевых пластин.
3. Получение металлургического и электронного кремния. Выращивание монокристаллов по методу Чохральского и БЗП.
4. Эпитаксия кремния из газовой фазы. Основы процессов массопереноса и химической кинетики.
5. Легирование и автолегирование.
6. Технологическое оборудование для эпитаксиального роста. Конструкции реакторов.
7. Жидкофазная эпитаксия соединений АЗВ5.
8. Технология и оборудование МЛЭ. Механизмы роста слоев и контроль параметров роста.
9. Механизм роста термического диоксида кремния.
10. Модель Дила-Гроува термического окисления.
11. Технология получения термического окисла и параметры, влияющие на процесс роста окисла.
12. Прераспределение примеси на границе Si/SiO₂ при окислении.
13. Технологический процесс термической диффузии примесей в кремний.
14. Аналитическое описание диффузии из бесконечного и конечного источника примесей.
15. Расчет режимов термической диффузии.
16. Контроль параметров диффузионных слоев.
17. Технология и оборудование ионной имплантации.
18. Теоретические основы расчета профиля легирования при ионной имплантации.
19. Боковое рассеяние и эффект каналирования.
20. Применение ионного легирования.
21. Расчет топологии диффузионных и ионно-легированных резисторов.
22. Технологический процесс фотолитографии. Контактная и проекционная фотолитография.
23. Разрешающая способность фотолитографии. Причины, ухудшающие разрешающую способность. Параметры установок фотолитографии.
24. Методы улучшения разрешающей способности фотолитографии.
25. Субмикронная литография. Рентгеновская, электронно-лучевая и ионная литография.
26. Изотропное травление кремния. Химическая кинетика травления кремния. Полирующие и селективные травители. Травление диоксида кремния.
27. Анизотропное травление кремния. Применение анизотропного травления. Зависимость скорости травления от концентрации примесей в кремнии р-типа проводимости.
28. Травление кремния в газовой фазе.
29. Плазменный разряд на постоянном токе.
30. Плазменный разряд на переменном токе. Конструкции и особенности использования оборудования с разной площадью электродов.
31. Плазмохимическое травление. Примеры используемых газов и реакций, реализующихся при ПХТ.
32. CVD и плазмохимические процессы получения пленок поликремния, диоксида и нитрида кремния. Основные параметры осажденных пленок.
33. Технология осаждения металлизированных слоев из парогазовых смесей.
34. Испарение резистивным нагревом. Электронно-лучевое испарение. Источники с индукционным нагревом. Магнетронное распыление.

35. Химическое осаждение металлов из парогазовых смесей. Проблемы, возникающие при металлизации.
36. Технология изготовления сенсоров давления с интегральными тензорезисторами.

Вопросы к экзамену в 8м семестре:

1. Материалы, используемые в технологии микросистем. Свойства материалов и физические эффекты, используемые в микросистемах.
2. Материалы совместимые с кремниевой технологией. Свойства и физические параметры пленок SiO₂, Si₃N₄. Металлические пленки. Полиимидные и фото-резистивные пленки.
3. Материалы и подложки отличные от кремния. Подложки из стекла и плавлен-ного кварца. Подложки и пленки карбида кремния. Алмазные пленки и подложки. Пленки и подложки AZB5. Полимерные пленки и подложки. Материалы с памятью формы.
4. Базовые технологические процессы, используемые в технологии микросис-тем. Spin-on метод. Использование толстых резистов. Особенности распределения резиста на рельефных поверхностях. Литографические процессы. Двух-сторонняя литография.
5. Жидкостное и сухое травление в технологии микросистем. Стоп-травление и диодное стоп-травление.
6. Анодное соединение кремний-стекло. Прямое сращивание кремниевых пла-стин. Шлифование, полирование и ХМП кремниевых пластин.
7. Золь-гель технология. LIGA-процесс.
8. Понятие о жертвенном слое. Методы удаления жертвенного слоя. Проблема прилипания и методы ее решения. Сверхкритическая сушка. Самосборочные монослои.
9. Фоточувствительные эпоксидные композиции. Фоточувствительные стекла. EFAB-процесс.
10. Нелитографические методы нанесения рисунка. Микроконтактная печать. Нано-импринт литография. УЗ-метод получения профилей.
11. Материалы и процессы поверхностной микромашиной технологии.
12. Понятие аспектного отношения. Глубокое реактивное ионное травление (ГРИТ).
13. Формирование глубоких профилей методом ГРИТ. Зависимость скорости травления от ширины канавки и аспектного отношения.
14. Комбинированная технология прямого сращивания и реактивного ионного травления. Использование глубокого реактивного ионного травления на КНИ- структурах.
15. SCREAM-процесс.
16. Актюаторы. Физические эффекты, используемые в актюаторах. Технология изготовления актюаторов.
17. Технология изготовления микросопел. Технология изготовления микрошарниров.
18. Технология изготовления сенсоров давления на повышенный диапазон тем-ператур.
19. Технология изготовления сенсоров для измерения скорости потока и расхода жидкостей и газов.
20. Конструкции и технология изготовления пьезорезистивных и емкостных акселерометров.
21. Конструкции и технология изготовления сенсоров угловой скорости.
22. Конструкции и технология изготовления газового сенсора на СО.
23. Устройство и технология изготовления головки струйного принтера.
24. Устройство и технология изготовления микроклапанов. Устройство и техно-логия изготовления микронасосов.
25. ИК-сенсоры. Материалы и технология изготовления.
26. Технология проекционных дисплеев и микрозеркал с цифровым управлением.
27. Технология дисплеев с дифракционными решетками.
28. Технология приборов волоконно-оптической связи.

29. Микросистемы для лазеров с перестраиваемой длиной волны.
30. Цифровые $M \times N$ оптические переключатели.
31. Материалы и процессы получения систем с микроциркуляцией жидкостей. Системы Lab-on-chip для биологического анализа.
32. Технология сборки микросистем.
33. Производственная гигиена, чистота материалов и помещений в технологическом процессе изготовления микромеханических систем.
34. ЕСТД и ее применение в технологическом процессе изготовления микромеханических систем.