

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”

ДЕКАН РЭФ

д.т.н. Хрусталева В. А.

“ ____ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Технология микросистем

Образовательная программа: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, профиль:
Микросистемная техника

Курс: 3, семестр : 5

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	Вид деятельности	5
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	3
2	Всего часов	108
3	Всего занятий в контактной форме, час.	61
4	Лекции, час.	36
5	Практические занятия, час.	0
6	Лабораторные занятия, час.	18
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	18
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	5
10	Самостоятельная работа, час.	47
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	РГЗ контр.
12	Вид аттестации	ДЗ

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

ФГОС введен в действие приказом №177 от 06.03.2015 г. , дата утверждения: 31.03.2015 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, вариативная, по выбору студента

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ППиМЭ, протокол заседания кафедры №5 от 20.06.2017

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 6 от 21.06.2017

Программу разработал:

доцент, к.т.н. Бердинский А. С.

Заведующий кафедрой:

с.н.с., д.ф-м.н. Гайслер В. А.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Гайслер В. А.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Компетенция ФГОС: ПК.8 готовность использовать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов, компонентов нано- и микросистемной техники; в части следующих результатов обучения:
з1. Знать методы расчета технологических режимов изготовления элементной базы микроэлектроники, компонентов нано-и микросистемной техники
з2. Знать физическую, химико-физическую и технологическую сущность процессов, протекающих при изготовлении микросистем; производственную гигиену: чистоту материалов и помещений; ЕСТД и её применение
у1. Владеть проектированием технологии изготовления элементной базы нано- и микросистемной техники
у2. Владеть процессами сборки и герметизации нано- и микросистем; системным подходом к управлению качеством продукции, к эксплуатации и сервисном обслуживании технологического оборудования
у3. Уметь выбирать практические варианты технологии изготовления нано- и микросистем, сенсоров и актюаторов для решения инженерных задач
у4. Уметь проводить сквозное конструкторско-технологическое проектирование компонентов нано-и микросистемной техники, интеллектуальных микросистем, сенсоров и актюаторов

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий
<i>Технология микросистем</i>	
ПК.8.31 Знать методы расчета технологических режимов изготовления элементной базы микроэлектроники, компонентов нано-и микросистемной техники	
1.Знать методы расчета технологических режимов изготовления элементной базы микроэлектроники, компонентов нано-и микросистемной техники	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.8.32 Знать физическую, химико-физическую и технологическую сущность процессов, протекающих при изготовлении микросистем; производственную гигиену: чистоту материалов и помещений; ЕСТД и её применение	
2.Знать физическую, химико-физическую и технологическую сущность процессов, протекающих при изготовлении микросистем; производственную гигиену: чистоту материалов и помещений; ЕСТД и её применение	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.8.у1 Владеть проектированием технологии изготовления элементной базы нано- и микросистемной техники	
3.Владеть проектированием технологии изготовления элементной базы нано- и микросистемной техники	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.8.у2 Владеть процессами сборки и герметизации нано- и микросистем; системным подходом к управлению качеством продукции, к эксплуатации и сервисном обслуживании технологического оборудования	
4.Владеть процессами сборки и герметизации нано- и микросистем; системным подходом к управлению качеством продукции, к эксплуатации и сервисном обслуживании технологического оборудования	Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.8.у3 Уметь выбирать практические варианты технологии изготовления нано- и микросистем, сенсоров и актюаторов для решения инженерных задач	
5.Уметь выбирать практические варианты технологии изготовления нано- и микросистем, сенсоров и актюаторов для решения инженерных задач	Лекции; Лабораторные работы
ПК.8.у4 Уметь проводить сквозное конструкторско-технологическое проектирование компонентов нано-и микросистемной техники, интеллектуальных микросистем, сенсоров и актюаторов	

6. Уметь проводить сквозное конструкторско-технологическое проектирование компонентов nano-и микросистемной техники, интеллектуальных микросистем, сенсоров и актюаторов	Лекции; Лабораторные работы
--	-----------------------------

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 5				
Дидактическая единица: Базовые материалы, технологические процессы и оборудование в производстве компонентов nano- и микросистемной техники				
1. Введение. Микросистемная техника - новое техническое направление. История и основные этапы развития. Связь с микроэлектроникой и основные особенности. 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.	1	2	1, 2, 4, 5	Лекция
1. 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.	1	2	1, 2, 3, 4	Лекция
2. 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.	1	2	1, 4, 5	Лекция

3. Получение металлургического и кремния. Получение электронного кремния. Метод Чохральского и БЗП. Технология получения кремниевых пластин. Классификация и параметры кремниевых пластин. Контроль параметров кремниевых пластин.	1	2	2, 3, 6	Лекция
Дидактическая единица: Технологические процессы, применяемые в производстве материалов, компонентов nano- и микросистемной техники				
6. Термическая диффузия примеси в кремний. Модели диффузии в твердом теле. Одномерное уравнение Фика. Расчет профилей легирования из неограниченного и ограниченного источника	1	2	1, 2, 3, 5, 6	Лекция
8. 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.	1	2	1, 3, 5	Лекция
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	1	2	1, 2, 5	Лекция

10. 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 сухом и влажном кислороде, и в парах воды	1	2	1, 2, 3, 5	Лекция
11. 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.	1	2	1, 2, 3, 5	Лекция
13. 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.	1	2	1, 2, 3, 5, 6	Лекция
14. 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.	1	2	1, 2, 3, 5, 6	Лекция

16. 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.	1	2	1, 2, 3, 5, 6	Лекция
17. Влажное травление кремния. Параметры травления и их зависимость от внешних факторов. Изотропное травление. Составы 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	1	2	1, 2, 3, 5	Лекция
18. 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.	1	2	1, 2, 3, 5, 6	Лекция
20. Реактивное ионное травление (RIE) и глубокое реактивное ионное травление (DRIE). Оборудование RIE и DRIE - технологий. Высокочастотная диодная система для RIE. Механизмы анизотропии RIE. Преимущества и недостатки RIE и DRIE. Травление диоксида кремния, нитрида кремния, поликристаллического кремния, силицидов тугоплавких металлов и алюминия. Примеры микромеханических систем полученных по DRIE - технологии.	1	2	1, 2, 3, 5, 6	Лекция
Дидактическая единица: Технологические циклы изготовления элементной базы nano- и микросистемной техники				

19. Технология изготовления актюаторов. Физические принципы, лежащие в основе работы актюаторов: пьезорезистивный, электростатический, температурный, магнитный, электромагнитные и памяти формы. Технология изготовления пассивных микромеханических систем: сопел, микроканалов, микрошарниров	1	2	1, 2, 3, 4, 5, 6	Лекция
21. 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	1	2	1, 2, 3, 5, 6	Лекция
Дидактическая единица: Технология сборки и корпусирования изделий нано-и микросистемной техники				
5. Технология сборки и корпусирования изделий нано-и микросистемной техники	1	2	1, 2, 3, 5, 6	Лекция

Таблица 3.2

Темы лабораторных работ	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 5				
Дидактическая единица: Технологические процессы, применяемые в производстве материалов, компонентов нано- и микросистемной техники				
1. Определение параметров слитков и пластин кремния	0	4	1, 2, 3, 5, 6	Лабораторная работа
2. Анизотропное травление кремния	0	4	1, 2, 3, 5, 6	Лабораторная работа
3. Определение параметров диффузионных р-п-переходов	0	4	1, 2, 3, 4, 5, 6	Лабораторная работа
Дидактическая единица: Технология сборки и корпусирования изделий нано-и микросистемной техники				
4. Электростатическое соединение кремния со стеклом. Сборка сенсора давления на профилированной кремниевой мембране.	0	6	1, 2, 3, 4, 5, 6	Лабораторная работа

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 5				
1	Контрольные работы	1, 2, 3, 4	10	2

Ответы на вопросы по темам лекций: 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				
2	РГЗ	1, 2, 3, 4	27	2
Подготовка презентации: 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				
3	Подготовка к занятиям	1, 2, 3, 4	10	1
Текущий опрос во время лекций: 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				

5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Информирование	Среда электронного обучения НГТУ
Консультирование	Личный типовой сайт
Контроль	e-mail
Размещение учебных материалов	e-mail

Таблица 5.2

Активные и интерактивные формы проведения занятий

№	Наименование активных форм
1	Дискуссия
Краткое описание применения: Обсуждение темы	

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставлять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Максимальный балл
Семестр: 5	
<i>Подготовка к занятиям:</i>	10
Контролирующие материалы приводятся в "Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы, табл.. - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2005/2005_kamen.rar	
<i>Дополнительная учебная деятельность:</i>	
<i>Лекция:</i>	10
<i>Лабораторная:</i>	20

Контрольные работы:	10
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы,табл.. - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2005/2005_kamen.rar "	
РГЗ:	20
Контролирующие материалы приводятся в "Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы,табл.. - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2005/2005_kamen.rar "	
Зачет:	30
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "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 "	

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

Коды компетенций ФГОС	Результаты обучения	Формы контроля		
		Контр. раб.	Защита РГЗ	Зачет
ПК.8	31. Знать методы расчета технологических режимов изготовления элементной базы микроэлектроники, компонентов нано-и микросистемной техники	+	+	+
	32. Знать физическую, химико-физическую и технологическую сущность процессов, протекающих при изготовлении микросистем; производственную гигиену: чистоту материалов и помещений; ЕСТД и её применение	+	+	+
	у1. Владеть проектированием технологии изготовления элементной базы нано- и микросистемной техники	+	+	+
	у2. Владеть процессами сборки и герметизации нано- и микросистем; системным подходом к управлению качеством продукции, к эксплуатации и сервисном обслуживании технологического оборудования	+	+	+
	у3. Уметь выбирать практические варианты технологии изготовления нано- и микросистем, сенсоров и актюаторов для решения инженерных задач	+	+	+
	у4. Уметь проводить сквозное конструкторско-технологическое проектирование компонентов нано-и микросистемной техники, интеллектуальных микросистем, сенсоров и актюаторов	+	+	+

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

7. Литература

Основная литература

1. Справочник Шпрингера по нанотехнологиям. (В 3 т.). Т. 1 / Федер. гос. учреждение Науч.-произв. комплекс "Технологический центр" Моск. гос. ин-та электрон. техники ; под ред. Б. Бхушана ; пер. с англ. под общ. ред. А. С. Саурова. - М., 2010. - 862 с. : ил., табл.
2. Maluf N. An introduction to microelectromechanical systems engineering / Nadim Maluf, Kirt Williams. - Boston, 2004. - xx, 283 p. : ill.. - Пер. загл.: Внедрение микроэлектромеханических систем.
3. Киреев В. Ю. Технологии микроэлектроники. Химическое осаждение из газовой фазы / В. Киреев, А. Столяров. - М., 2006. - 190, [1] с. : табл.
4. Золь-гель технология микро- и нанокмполитов : [учебное пособие по направлениям "Электроника и наноэлектроника" и др.] / В. А. Мошников [и др.] ; под ред. О. А. Шиловой. - Санкт-Петербург [и др.], 2013. - 292 с. : ил., табл.

5. Dziuban J. A. Bonding in Microsystem Technology [electronic resource] // by Jan A. Dziuban. - Dordrecht :, 2006. : v.: digital // Springer e-books. - Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.1007/1-4020-4589-1>

6. Процессы микро- и нанотехнологии : учебное пособие для вузов по специальностям 200100 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" и 202100 "Нанотехнология в электрике" / Т. И. Данилина и др. ; Томский гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. - Томск, 2005. - 314, 1] с.

Дополнительная литература

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. 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.
3. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий. В 2 т.. Т. 1 / [под общ. ред. Ю. Н. Коркишко]. - М., 2010. - 392 с. : ил., граф.

Интернет-ресурсы

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znaniy.com" : <http://znaniy.com/>
5. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Каменская А. В. Технологические процессы в микроэлектронике : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская, Р. П. Дикарева ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2005. - 43 с. : схемы, табл.. - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2005/2005_kamen.rar
2. 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>

8.2 Специализированное программное обеспечение

- 1 Microsoft Windows
- 2 Microsoft Office

9. Материально-техническое обеспечение

Лабораторный стенд

№	Наименование	Назначение
1	Комплект мультимедийного оборудования	Презентационное оборудование(мультимедиа-проектор, экран, компьютер для управления). Предназначен для проведения лекций и семинарских занятий

Специальное оборудование

№	Наименование	Назначение
1	МИКРОСКОП МИИ-4	Для проведения лабораторных работ
2	ПРИБОР Щ-301/1	Для проведения лабораторных работ
3	УСТАНОВКА 830-03	Для проведения лабораторных работ
4	УСТАНОВКА для сушки пластин	Для проведения лабораторных работ
5	МИКРОСКОП МБС-10	Для проведения лабораторных работ
6	Установка совмещения и экспонирования ЭМ-576А	Для проведения лабораторных работ
7	УСТАНОВКА УВН-71р-3	Для проведения лабораторных работ
8	УСТАНОВКА УНФ	Для проведения лабораторных работ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
д.т.н., профессор В.А. Хрусталев
“ ” _____ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Технология микросистем

Образовательная программа: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, профиль:
Микросистемная техника

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Технология микросистем приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (зачет)
ПК.8/ПТ готовность использовать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов, компонентов нано- и микросистемной техники	31. Знать методы расчета технологических режимов изготовления элементной базы микроэлектроники, компонентов нано-и микросистемной техники	Введение. Микросистемная техника - новое техническое направление. История и основные этапы развития. Связь с микроэлектроникой и основные особенности. 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. 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. 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.	Контрольная работа 1. Тема РГЗ-1. Разработка технологической схемы изготовления сопла с квадратным отверстием. Материалы защитных пленок SiO ₂ и Si ₃ N ₄ . Описать процесс фотолитографии. Рассчитать режимы получения защитных пленок. Описать процесс фотолитографии. Рассчитать режимы анизотропного травления. Тема РГЗ-2. Разработка технологической схемы изготовления сопла с круглым отверстием. Материал защитной пленки Si ₃ N ₄ . Рассчитать режимы получения защитной пленки. Рассчитать режим получения стоп-слоя. Описать процесс фотолитографии. Рассчитать режим анизотропного травления. Тема РГЗ-3. Разработка	Вопросы к зачету: 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.

			технологической схемы изготовления микрошарнира. Описать процесс фотолитографии. Описать процесс травления жертвенных слоев. Рассчитать процессы осаждения поликремния и ФСС.	
ПК.8/ПТ	32. Знать физическую, химико-физическую и технологическую сущность процессов, протекающих при изготовлении микросистем; производственную гигиену: чистоту материалов и помещений; ЕСТД и её применение	Получение металлургического и кремния. Получение электронного кремния. Метод Чохральского и БЗП. Технология получения кремниевых пластин. Классификация и параметры кремниевых пластин. Контроль параметров кремниевых пластин. 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 сухом и влажном кислороде, и в парах воды	Контрольная работа 1. Тема РГЗ-4. Разработка технологической схемы изготовления сенсора давления с диффузионными резисторами р- типа проводимости. Рассчитать режим диффузии для получения сопротивления резистора 1 кОм. Рассчитать топологию резистора. Рассчитать режим анизотропного травления. Нарисовать электрическую схему сенсора. Тема РГЗ-5. Разработка технологической схемы изготовления сенсора давления с поликремниевыми резисторами р- типа проводимости. Рассчитать режим легирования для получения сопротивления резистора 1 кОм. Рассчитать топологию резистора. Рассчитать режим анизотропного травления. Нарисовать	7. Жидкофазная эпитаксия соединений A_3B_5 . 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. Перераспределе ние примеси на границе Si/SiO ₂ при окислении.

			электрическую схему сенсора. Тема РГЗ-6. Разработка технологической схемы изготовления высокотемпературного сенсора давления на основе КНИ технологии. Описать режим срачивания кремниевых пластин. Рассчитать режим получения стоп-слоя. Описать процесс получения тензорезисторов. Описать процесс металлизации. Описать процесс двухсторонней литографии. Рассчитать режим анизотропного травления.	
ПК.8/ПТ	у1. Владеть проектированием технологии изготовления элементной базы nano- и микросистемной техники	Получение металлургического и кремния. Получение электронного кремния. Метод Чохральского и БЗП. Технология получения кремниевых пластин. Классификация и параметры кремниевых пластин. Контроль параметров кремниевых пластин. Технология изготовления актюаторов. Физические принципы, лежащие в основе работы актюаторов: пьезорезистивный, электростатический, температурный, магнитный, электромагнитные и памяти формы. Технология изготовления пассивных микромеханических систем: сопел, микроканалов, микрошарниров	Контрольная работа 1. Тема РГЗ-7. Разработка технологической схемы изготовления сенсора потока газа. Рассчитать режим осаждения пленки Si₃N₄. Выбрать материалы для изготовления нагревательных резисторов и терморезисторов, описать технологию их получения. Описать процесс двухсторонней литографии. Рассчитать режим анизотропного травления. Нарисовать электрическую схему сенсора. Тема РГЗ-8. Разработка технологической	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.

			схемы изготовления емкостного акселерометра. Выбрать материалы защитных пленок и рассчитать режимы их осаждения. Описать процесс двухсторонней литографии. Рассчитать режимы анизотропного травления. Описать технологию сборки сенсора. Тема РГЗ-9. Разработка технологической схемы изготовления сенсора угловой скорости. Рассчитать режим нанесения пленки SiO₂. Описать режимы фотолитографии и нанесения пленки металла. Подробно описать технологию ГРИТ. Подробно описать технологию анодного соединения.	
ПК.8/ПТ	у2. Владеть процессами сборки и герметизации нано- и микросистем; системным подходом к управлению качеством продукции, к эксплуатации и сервисном обслуживании технологического оборудования	Материалы интегральной электроники. Материалы для микромеханических и микроптических 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. Электростатическое соединение кремния со стеклом. Сборка сенсора давления на профилированной кремниевой мембране.	Контрольная работа 2. Тема РГЗ-10. Разработка технологической схемы изготовления камертонного сенсора угловой скорости. Рассчитать режим нанесения пленки SiO₂. Описать технологию срачивания кремниевых пластин. Рассчитать режим легирования для получения сопротивления резистора 1 кОм.	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

			Рассчитать режимы анизотропного травления. Тема РГЗ-11. Разработка технологической схемы изготовления сенсора угловой скорости компании Роберт Бош. Рассчитать режим нанесения пленки SiO₂. Рассчитать режим осаждения пленки поликремния. Рассчитать режимы анизотропного травления. Подробно описать технологию ГРИТ. Подробно описать технологию анодного соединения и сборки сенсора. Тема РГЗ-12. Разработка технологической схемы изготовления газового сенсора на CO. Рассчитать режим нанесения пленки SiO₂. Описать технологии получения толстого окисла, поликремниевого нагревателя, пленки SnO₂ и металлизации. Рассчитать режимы анизотропного травления. Описать технологию сборки сенсора.	фотолитографии. 24. Методы улучшения разрешающей способности фотолитографии.
ПК.8/ПТ	у3. Уметь выбирать практические варианты технологии изготовления нано- и микросистем, сенсоров и актюаторов для решения	Материалы интегральной электроники. Материалы для микромеханических и микрооптических устройств. Свойства и физические параметры полупроводниковых, диэлектрических, проводящих и полимерных материалов,	Контрольная работа 2. Тема РГЗ-13. Разработка технологической схемы изготовления ячейки	25. Субмикронная литография. Рентгеновская, электронно-лучевая и ионная литография. 26. Изотропное травление кремния. Химическая кинетика травления кремния.

	инженерных задач	используемых в микросистемной технике. Кремний - основной материал микросистемной техники. Свойства и технологические особенности кремния. 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	инжекторного струйного принтера. Описать режимы осаждения и травления пленок металлов и защитных покрытий. Описать принцип действия ячейки. Тема РГЗ-14. Разработка технологической схемы изготовления микроклапана с TiNi-актюатором. Рассчитать режим нанесения пленки SiO ₂ . Рассчитать режимы анизотропного травления. Описать режим осаждения - травления пленки TiNi и металлизации. Описать технологию сборки микроклапана. Тема РГЗ-15. Разработка технологической схемы изготовления микронасоса с электростатической актюацией. Рассчитать режимы осаждения пленки Si ₃ N ₄ . Рассчитать режим получения стоп-слоя. Рассчитать анизотропного травления. Описать процесс сборки микронасоса.	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.
ПК.8/ПТ	у4. Уметь проводить сквозное конструкторско-технологическое проектирование компонентов нано-и микросистемной техники, интеллектуальных микросистем,	Термическая диффузия примеси в кремний. Модели диффузии в твердом теле. Одномерное уравнение Фика. Расчет профилей легирования из неограниченного и ограниченного источника. Технология сборки и корпусирования изделий нано-и микросистемной техники	Контрольная работа 2. Тема РГЗ-16. Разработка технологической схемы изготовления цифрового микрозеркала.	31. Плазмохимическое травление. Примеры используемых газов и реакций, реализующихся при ПХТ. 32. CVD и плазмохимические процессы получения

	сенсоров и актюаторов		Описать технологию осаждения- травления пленок, жертвенных слоев, спейсеров и отражающих покрытий. Тема РГЗ-17. Разработка технологической схемы изготовления микроконденсатора переменной емкости. Bulk-Micromachined Variable Capacitors. Описать технологию осаждения- травления пленок, РИТ, ГРИТ. Сборка микроконденсатора. Тема РГЗ-18 Разработка технологической схемы изготовления микрокатушки. Описать технологию осаждения- травления пленок. Тема РГЗ-19 Разработка технологической схемы изготовления звукового микрорезонатора. Film Bulk Acoustic Resonators. Рассчитать режимы получения SiO₂ и ФСС. Описать режимы получения пленок проводника и пьезоэлектрика. Травление жертвенного слоя.	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
--	-----------------------	--	---	--

			Тема РГЗ-20 Разработка технологической схемы изготовления микромеханического выключателя. Описать и рассчитать технологические режимы осаждения слоев. Тема РГЗ-21 Разработка технологической схемы изготовления цифрового затвора на основе дифракционной решетки. Описать и рассчитать технологические режимы осаждения слоев.	
--	--	--	--	--

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 5 семестре - в форме дифференцированного зачета, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.8/ПТ.

Зачет проводится в устной форме по билетам. Билет содержит три вопроса по материалам лекций и практических занятий. Время подготовки ответов на вопросы 60 минут.

Варианты вопросов приведены в паспорте зачета и позволяют оценить показатели сформированности соответствующих компетенций

Кроме того, сформированность компетенции проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 5 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются расчетно-графическое задание (РГЗ), контрольная работа. Требования к выполнению РГЗ, контрольной работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ, контрольной работы.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенции ПК.8/ПТ, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы,

большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

Паспорт зачета

по дисциплине «Технология микросистем», 5 семестр

1. Методика оценки

Зачет проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов _1 - 12_, второй вопрос из диапазона вопросов _13 - 24_, третий вопрос выбирается из диапазона вопросов _25 - 36_, (список вопросов приведен ниже). В ходе зачета преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма билета для зачета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 1

к зачету по дисциплине «Технология микросистем»

- 1 Модель Дила-Гроува термического окисления.
2. Технологический процесс фотолитографии.
3. . Плазменный разряд на постоянном токе.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ Гайслер В.А.

(подпись)

(дата)

2. Критерии оценки

- Ответ на билет для зачета считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, при ответе на вопросы допускает принципиальные ошибки, оценка составляет 0 баллов.
- Ответ на билет для зачета засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при ответе на вопросы допускает не принципиальные ошибки, например, вычислительные, оценка составляет 15 баллов.
- Ответ на билет для зачета билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при

ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при ответе на вопросы, оценка составляет 20 баллов.

- Ответ на билет для зачета билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен представить количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода технологического решения, оценка составляет 30 баллов.

3. Шкала оценки

Оцениваемая работа в семестре	Максимальный балл	Минимальный балл	Максимальная оценка по дисциплине (ECTS)	Минимальная оценка по дисциплине (ECTS)
Лекции	10	5	10	5
Лабораторные работы	20	10	20	10
Контрольные работы	10	5	10	5
РГЗ	20	10	20	10
Подготовка к занятиям	10	5	10	5
Зачет	30	15	30	15
Суммарный балл	100	50	98-100 (A+) «отлично»	50-59 (E) «удовлетворительно»

Зачет считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета оставляет не менее 15 баллов (из 30 возможных).

В общей оценке по дисциплине баллы за зачет учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Вопросы к зачету по дисциплине «Технология микросистем»

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. Перераспределение 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.

Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Технология микросистем», 5 семестр

1. Методика оценки

Первая контрольная работа проводится по теме: «Процессы термического окисления кремния» и включает 10 заданий. Выполняется письменно. Время выполнения контрольной работы 45 минут.

Пример задания на первую контрольную работу: Определить время, требуемое для выращивания термического SiO_2 толщиной 0.5 мкм на Si-пластине при следующих условиях:

- а) Ориентация Si- подложки $\langle 111 \rangle$; окисление проводится во влажном кислороде; температура процесса 1050 °С; давление 1атм (760 Торр); $V/A = 3.00$ мкм/ч; $V = 0.49$ мкм²/ч.
- б) Ориентация Si-подложки $\langle 111 \rangle$; окисление проводится в сухом кислороде; температура процесса 1050 °С; давление 1атм (760 Торр); $V/A = 0.150$ мкм/ч; $V = 0.0159$ мкм²/ч. Для сухого окисления предположить наличие естественного окисла толщиной 25нм.

Вторая контрольная работа проводится по теме: «Процессы термической диффузии примеси в кремний окисления кремния» и включает 10 заданий. Выполняется письменно. Время выполнения контрольной работы 45 минут.

Пример задания на вторую контрольную работу: Диффузионный слой p-типа проводимости был легирован бором при следующих условиях: время загонки 30 мин, температура загонки 900 °С, поверхностная концентрация равна предельной растворимости примеси для температуры процесса; время разгонки 60 мин, температура разгонки 1000 °С.

Определить: (а) Дозу легирования Q?

(б) Глубину залегания p-n-перехода (x_j), если концентрация фосфора в подложке $1 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$?

(в) Величину поверхностного сопротивления диффузионного слоя?

2. Критерии оценки

Каждое задание контрольной работы оценивается в соответствии с приведенными ниже критериями.

Контрольная работа считается **невыполненной**, если не выполнены расчеты.

Оценка составляет **0** баллов.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если расчеты выполнены с ошибками.

Оценка составляет **3** баллов.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если расчеты выполнены с минимальными ошибками.

Оценка составляет **4** баллов.

Работа считается выполненной на **продвинутом** уровне, если расчеты выполнены без ошибок.

Оценка составляет **5** баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за контрольную работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Оцениваемая работа в семестре	Максимальный балл	Минимальный балл	Максимальная оценка по дисциплине (ECTS)	Минимальная оценка по дисциплине (ECTS)
Лекции	10	5	10	5
Лабораторные работы	20	10	20	10
Контрольные работы	10	5	10	5
РГЗ	20	10	20	10
Подготовка к занятиям	10	5	10	5
Зачет	30	15	30	15
Суммарный балл	100	50	98-100 (A+) «отлично»	50-59 (E) «удовлетворительно»

4. Пример варианта контрольной работы

Вариант 1: Определить время, требуемое для выращивания термического SiO_2 толщиной 0.5 мкм на Si-пластине при следующих условиях:

а) Ориентация Si- подложки $\langle 100 \rangle$; окисление проводится во влажном кислороде; температура процесса 1050 °С; давление 1атм (760 Торр); $V/A = 3.00$ мкм/ч; $B = 0.49$ мкм²/ч.

б) Ориентация Si-подложки $\langle 100 \rangle$; окисление проводится в сухом кислороде; температура процесса 1050 °С; давление 1атм (760 Торр); $V/A = 0.150$ мкм/ч; $B = 0.0159$ мкм²/ч. Для сухого окисления предположить наличие естественного окисла толщиной 25нм.

Вариант 2:

Пример задания на вторую контрольную работу: Диффузионный слой n-типа проводимости был легирован фосфором при следующих условиях:

время загонки 30 мин, температура загонки 900 °С, поверхностная концентрация равна предельной растворимости примеси для температуры процесса; время разгонки 60 мин, температура разгонки 1000 °С.

Определить: (а) Дозу легирования Q?

(б) Глубину залегания p-n-перехода (x_j), если концентрация бора в подложке $1 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$?

(в) Величину поверхностного сопротивления диффузионного слоя?

Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Технология микросистем», 5 семестр

1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания по дисциплине студенты должны разработать технологический процесс изготовления сенсора или микро-электромеханической системы в соответствии с индивидуальным заданием. Дать характеристику используемых материалов и оборудования. Произвести оценку режимов осаждения и травления пленок, рассчитать режимы получения р-п-переходов. Описать характер сборочных операций.

При выполнении расчетно-графического задания (работы) студенты должны выбрать технологическую схему изготовления сенсора или микро-электромеханической системы в соответствии с индивидуальным заданием, должны провести анализ входных и выходных параметров объекта разработки. Выбрать и обосновать технологические режимы получения подложек и конструктивных слоев объекта разработки. Рассчитать технологические режимы осаждения и травления пленок и подложек, получения р-п-переходов. Охарактеризовать сборочные операции объекта исследования.

Обязательные структурные части РГЗ: 1. Введение; 2. Характеристика объекта технологической разработки; 3. Описание основных входных и выходных параметров объекта технологической разработки; 4. Характеристика материалов используемых в объекте технологической разработки; 5. Блок-схема основных технологических этапов изготовления объекта технологической разработки; 6. Эскизы эволюции структур объекта технологической разработки; 7. Расчет технологических режимов осаждения и травления пленок и подложек, получения р-п-переходов. 8. Характеристика оборудования, используемого в технологическом процессе; 9. Характеристика сборочных операций объекта исследования; 10. Список использованной литературы.

2. Критерии оценки

Работа считается не выполненной, если выполнены не все части РГЗ, отсутствует анализ объекта, не описаны основные и выходные параметры объекта технологической разработки; отсутствует характеристика материалов, используемых в объекте технологической разработки; отсутствует блок-схема и эскизы эволюции структур объекта технологической разработки; отсутствуют расчеты технологических режимов осаждения и травления пленок и подложек, получения р-п-переходов.

Оценка составляет ___0___ баллов.

Работа считается выполненной на пороговом уровне, если все структурные части РГЗ выполнены формально: анализ объекта и технологический процесс недостаточно обоснованы; отсутствует характеристика используемых материалов, расчеты технологических режимов выполнены с ошибками.

Оценка составляет _10_ баллов.

Работа считается выполненной на базовом уровне, если структурные части РГЗ выполнены полностью и неформально, анализ объекта технологической разработки выполнен в полном объеме, входные и выходные параметры объекта технологической

разработки обоснованы, технологические режимы получения структур разработаны, но не оптимизированы, характеристика оборудования приведена не полностью.

Оценка составляет 15 баллов.

Работа считается выполненной на продвинутом уровне, если все если структурные части РГЗ выполнены в полном объеме, анализ объекта технологической разработки выполнен полностью, входные и выходные параметры объекта технологической разработки описаны и связаны с конструкцией объекта, расчеты технологических режимов выполнены полностью и оптимизированы, характеристика оборудования приведена полностью.

Оценка составляет 20 баллов.

Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Оцениваемая работа в семестре	Максимальный балл	Минимальный балл	Максимальная оценка по дисциплине (ECTS)	Минимальная оценка по дисциплине (ECTS)
Лекции	10	5	10	5
Лабораторные работы	20	10	20	10
Контрольные работы	10	5	10	5
РГЗ	20	10	20	10
Подготовка к занятиям	10	5	10	5
Зачет	30	15	30	15
Суммарный балл	100	50	98-100 (A+) «отлично»	50-59 (E) «удовлетворительно»

3. Примерный перечень тем РГЗ

Тема РГЗ-1. Разработка технологической схемы изготовления сопла с квадратным отверстием. Материалы защитных пленок SiO_2 и Si_3N_4 . Описать процесс фотолитографии. Рассчитать режимы получения защитных пленок. Описать процесс фотолитографии. Рассчитать режимы анизотропного травления.

Тема РГЗ-2. Разработка технологической схемы изготовления сопла с круглым отверстием. Материал защитной пленки Si_3N_4 . Рассчитать режимы получения защитной пленки. Рассчитать режим получения стоп-слоя. Описать процесс фотолитографии. Рассчитать режим анизотропного травления.

Тема РГЗ-3.

Разработка технологической схемы изготовления микрошарнира. Описать процесс фотолитографии. Описать процесс травления жертвенных слоев. Рассчитать процессы осаждения поликремния и ФСС.

Тема РГЗ-4. Разработка технологической схемы изготовления сенсора давления с диффузионными резисторами р-типа проводимости. Рассчитать режим диффузии для получения сопротивления резистора 1 кОм. Рассчитать топологию резистора. Рассчитать

режим анизотропного травления. Нарисовать электрическую схему сенсора.

Тема РГЗ-5. Разработка технологической схемы изготовления сенсора давления с поликремниевыми резисторами р-типа проводимости. Рассчитать режим легирования для получения сопротивления резистора 1 кОм. Рассчитать топологию резистора. Рассчитать режим анизотропного травления. Нарисовать электрическую схему сенсора.

Тема РГЗ-6. Разработка технологической схемы изготовления высокотемпературного сенсора давления на основе КНИ технологии. Описать режим срачивания кремниевых пластин. Рассчитать режим получения стоп-слоя. Описать процесс получения тензорезисторов. Описать процесс металлизации. Описать процесс двухсторонней литографии. Рассчитать режим анизотропного травления.

Тема РГЗ-7.

Разработка технологической схемы изготовления сенсора потока газа.

Рассчитать режим осаждения пленки Si_3N_4 . Выбрать материалы для изготовления нагревательных резисторов и терморезисторов, описать технологию их получения. Описать процесс двухсторонней литографии. Рассчитать режим анизотропного травления. Нарисовать электрическую схему сенсора.

Тема РГЗ-8.

Разработка технологической схемы изготовления емкостного акселерометра.

Выбрать материалы защитных пленок и рассчитать режимы их осаждения. Описать процесс двухсторонней литографии. Рассчитать режимы анизотропного травления. Описать технологию сборки сенсора.

Тема РГЗ-9.

Разработка технологической схемы изготовления сенсора угловой скорости.

Рассчитать режим нанесения пленки SiO_2 . Описать режимы фотолитографии и нанесения пленки металла. Подробно описать технологию ГРИТ. Подробно описать технологию анодного соединения.

Тема РГЗ-10.

Разработка технологической схемы изготовления камертонного сенсора угловой скорости.

Рассчитать режим нанесения пленки SiO_2 . Описать технологию срачивания кремниевых пластин. Рассчитать режим легирования для получения сопротивления резистора 1 кОм. Рассчитать режимы анизотропного травления.

Тема РГЗ-11.

Разработка технологической схемы изготовления сенсора угловой скорости компании Роберт Бош.

Рассчитать режим нанесения пленки SiO_2 . Рассчитать режим осаждения пленки поликремния. Рассчитать режимы анизотропного травления. Подробно описать технологию ГРИТ. Подробно описать технологию анодного соединения и сборки сенсора.

Тема РГЗ-12.

Разработка технологической схемы изготовления газового сенсора на CO.

Рассчитать режим нанесения пленки SiO_2 . Описать технологии получения толстого окисла, поликремниевых нагревателей, пленки SnO_2 и металлизации. Рассчитать режимы анизотропного травления. Описать технологию сборки сенсора.

Тема РГЗ-13.

Разработка технологической схемы изготовления ячейки инжекторного струйного принтера.

Описать режимы осаждения и травления пленок металлов и защитных покрытий. Описать принцип действия ячейки.

Тема РГЗ-14.

Разработка технологической схемы изготовления микроклапана с TiNi-актюатором.

Рассчитать режим нанесения пленки SiO_2 . Рассчитать режимы анизотропного травления. Описать режим осаждения -травления пленки TiNi и металлизации. Описать технологию сборки микроклапана.

Тема РГЗ-15.

Разработка технологической схемы изготовления микронасоса с электростатической актюацией.

Рассчитать режимы осаждения пленки Si_3N_4 . Рассчитать режим получения стоп-слоя.

Рассчитать анизотропного травления. Описать процесс сборки микронасоса.

Тема РГЗ-16.

Разработка технологической схемы изготовления цифрового микрозеркала.

Описать технологию осаждения- травления пленок, жертвенных слоев, спейсеров и отражающих покрытий.

Тема РГЗ-17.

Разработка технологической схемы изготовления микроконденсатора переменной емкости. Bulk-Micromachined Variable Capacitors.

Описать технологию осаждения- травления пленок, РИТ, ГРИТ. Сборка микроконденсатора.

Тема РГЗ-18

Разработка технологической схемы изготовления микрокатушки. Описать технологию осаждения- травления пленок.

Тема РГЗ-19

Разработка технологической схемы изготовления звукового микрорезонатора. Film Bulk Acoustic Resonators. Рассчитать режимы получения SiO_2 и ФСС. Описать режимы получения пленок проводника и пьезоэлектрика. Травление жертвенного слоя.

Тема РГЗ-20

Разработка технологической схемы изготовления микромеханического выключателя.

Описать и рассчитать технологические режимы осаждения слоев.

Тема РГЗ-21

Разработка технологической схемы изготовления цифрового затвора на основе дифракционной решетки. Описать и рассчитать технологические режимы осаждения слоев.