

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

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”

ДЕКАН РЭФ

д.т.н. Хрусталеv В. А.

“ ____ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Материалы и процессы микросистемной техники

Образовательная программа: 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника, магистерская программа: Компоненты микро- и наносистемной техники

Курс: 2, семестр : 3

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	Вид деятельности	3
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	3
2	Всего часов	108
3	Всего занятий в контактной форме, час.	46
4	Лекции, час.	0
5	Практические занятия, час.	36
6	Лабораторные занятия, час.	0
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	16
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	8
10	Самостоятельная работа, час.	62
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	РГЗ
12	Вид аттестации	Э

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

ФГОС введен в действие приказом №990 от 09.09.2015 г. , дата утверждения: 05.10.2015 г.

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

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 28.04.01 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.3 готовность разрабатывать физические и математические модели, проводить компьютерное моделирование исследуемых физических процессов в области нанотехнологии и микросистемной техники; в части следующих результатов обучения:
з18. знать физическую, химико-физическую и технологическую сущность процессов, протекающих при изготовлении микросистем; производственную гигиену: чистоту материалов и помещений; ЕСТД и её применение
у2. уметь выбирать практические варианты технологии изготовления элементной базы микроэлектроники и микросистем для решения инженерных задач
у4. уметь проводить сквозное конструкторско-технологическое проектирование компонентов 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>Материалы и процессы микросистемной техники</i>	
ПК.3.з18 знать физическую, химико-физическую и технологическую сущность процессов, протекающих при изготовлении микросистем; производственную гигиену: чистоту материалов и помещений; ЕСТД и её применение	
1. Знать физическую, химико-физическую и технологическую сущность процессов, протекающих при изготовлении микросистем; производственную гигиену: чистоту материалов и помещений; ЕСТД и её применение	Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.3.у2 уметь выбирать практические варианты технологии изготовления элементной базы микроэлектроники и микросистем для решения инженерных задач	
2. Уметь выбирать практические варианты технологии изготовления элементной базы микроэлектроники и микросистем для решения инженерных задач	Практические занятия; Самостоятельная работа
ПК.3.у4 уметь проводить сквозное конструкторско-технологическое проектирование компонентов микросистемной техники, интеллектуальных микросистем, сенсоров и актюаторов	
3. Уметь проводить сквозное конструкторско-технологическое проектирование компонентов микросистемной техники, интеллектуальных микросистем, сенсоров и актюаторов	Практические занятия; Самостоятельная работа

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы практических занятий	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 3				
Дидактическая единица: Материалы микро- и наносистемной техники				
1. Кремний, как основной материал для изготовления микросистем	1	4	1, 2, 3	Практика
2. Диэлектрические пленки в технологии микросистем	2	4	1, 2, 3	Практика
3. Карбид кремниевые и алмазные пленки в технологии микросистем	1	2	1, 2, 3	Практика
Дидактическая единица: Физические и химические эффекты используемые в сенсора и актюаторах				

4. Физические и химические эффекты преобразования в сенсорных системах	2	4	1, 2, 3	Практика
5. Виды и классификация сенсоров и сенсорных систем в зависимости от входного и выходного физического/химического воздействия	1	4	1, 2, 3	Практика
Дидактическая единица: Основные технологические процессы микро- и наносистемной техники				
6. Двухсторонняя фотолитография. Методы субмикронной литографии.	1	2	1, 2, 3	Практика
7. Осаждение диэлектрических пленок и поликристаллического кремния	1	2	1, 2, 3	Практика
8. Влажное и сухое изотропное и анизотропное травление в технологии микросистем	2	4	1, 2, 3	Практика
9. Плазмо-химическое травление в технологии микросистем. Физико-химические основы электростатического соединения кремния со стеклом.	1	2	1, 2, 3	Парактика
10. Глубокое реактивное ионное травление в технологии микросистем	1	2	1, 2, 3	Практика
Дидактическая единица: Последовательность технологических операций в технологии изготовления сенсоров и актюаторов				
11. LIGA-процесс в технологии микросистем. Эффект прилипания в технологии микросистем. Сверхкритическая сушка. Самосборочные монослои.	1	2	1, 2, 3	Практика
12. Технология изготовления сопел, гребенчатых актюаторов и акселерометров, сенсоров угловой скорости, микроклапанов и микронасосов	2	4	1, 2, 3	Практика

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 3				
1	РГЗ	1, 2, 3	46	4
Работа с рекомендованной литературой и материалами практических занятий: 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	Подготовка к занятиям	1, 2, 3	10	2

Изучение материала практических занятий: 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	Дополнительная учебная деятельность	2, 3	0	0
: 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				
4	Подготовка к аттестации	1, 2, 3	6	2
Анализ замечаний по выполнению РГЗ и работа по материалам практических занятий: 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	e-mail
Консультирование	Чат
Контроль	e-mail
Размещение учебных материалов	Портал НГТУ

Таблица 5.2

Активные и интерактивные формы проведения занятий

№	Наименование активных форм
1	Дискуссия
Краткое описание применения: Обсуждение материала практического занятия	

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	Мин. балл	Максимальный балл
Семестр: 3		
<i>Подготовка к занятиям:</i>	6	12
<i>Дополнительная учебная деятельность:</i>	0	
<i>Практические занятия:</i>	10	18
<i>РГЗ:</i>	10	30
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 "		

Экзамен:	30	40
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	
		Защита РГЗ	Экзамен
ПК.3	318. знать физическую, химико-физическую и технологическую сущность процессов, протекающих при изготовлении микросистем; производственную гигиену: чистоту материалов и помещений; ЕСТД и её применение	+	+
	у2. уметь выбирать практические варианты технологии изготовления элементной базы микроэлектроники и микросистем для решения инженерных задач	+	+
	у4. уметь проводить сквозное конструкторско-технологическое проектирование компонентов 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. Справочник Шпрингера по нанотехнологиям. (В 3 т.). Т. 2 / 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. - 1039 с. : ил., табл.
3. Справочник Шпрингера по нанотехнологиям. (В 3 т.). Т. 3 / 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. - 831 с. : ил.
4. Bhushan B. Springer Handbook of Nanotechnology / Bharat Bhushan, editor. - Berlin ;, 2007. - XLIV, 1916 p. : ill. + 1 CD-ROM (4 3/4 in.). - Пер. загл.: Шпрингеровский справочник по нанотехнологии.
5. Maluf N. An introduction to microelectromechanical systems engineering / Nadim Maluf, Kirt Williams. - Boston, 2004. - xx, 283 p. : ill.. - Пер. загл.: Внедрение микроэлектромеханических систем.
6. 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>
7. Золь-гель технология микро- и нанокомполитов : [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.

Дополнительная литература

1. Гридчин В. А. Физика микросистем. Ч. 1 : [учебное пособие для вузов] / В. А. Гридчин, В. П. Драгунов ; [Новосиб. гос. техн. ун-т]. - Новосибирск, 2004. - 415 с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000031699

2. Киреев В. Ю. Технологии микроэлектроники. Химическое осаждение из газовой фазы / В. Киреев, А. Столяров. - М., 2006. - 190, [1] с. : табл.
3. 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.

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 "Znaniium.com" : <http://znaniium.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

Компьютерный класс

№	Наименование	Назначение
1	Компьютерный класс (Компьютеры объединены в локальную сеть с выходом в Internet)	Презентационное оборудование(мультимедиа-проектор, экран, компьютер для управления). Предназначен для проведения лекций и семинарских занятий

Лабораторный стенд

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

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Материалы и процессы микросистемной техники 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 (экзамен, зачет)
ПК.3/НИ готовность разрабатывать физические и математические модели, проводить компьютерное моделирование исследуемых физических процессов в области нанотехнологии и микросистемной техники	з18. знать физическую, химико-физическую и технологическую сущность процессов, протекающих при изготовлении микросистем; производственную гигиену: чистоту материалов и помещений; ЕСТД и её применение	LIGA-процесс в технологии микросистем. Эффект прилипания в технологии микросистем. Сверхкритическая сушка. Самосборочные монослои. Виды и классификация сенсоров и сенсорных систем в зависимости от входного и выходного физического/химического воздействия Влажное и сухое изотропное и анизотропное травление в технологии микросистем Двухсторонняя фотолитография. Методы субмикронной литографии. Диэлектрические пленки в технологии микросистем Кремний, как основной материал для изготовления микросистем Плазмо-химическое травление в технологии микросистем. Физико-химические основы электростатического соединения кремния со стеклом. Технология изготовления сопел, гребенчатых актюаторов и акселерометров, сенсоров угловой скорости, микроклапанов и микронасосов Физические и химические эффекты преобразования в сенсорных системах	Тема РГЗ-1: «Исследование термoeлектрических свойств катион-замещенных сульфидов $\text{CuCr}_{1-x}\text{Fe}_x\text{S}_2$ » Разделы: 1. Актуальность исследования КЗС. 2. Пути повышения добротности. 3. Описание образцов и схема установки измерения. 4. Схема аналогового вычитания 5. Измерение относительного к-та термоЭДС 6. Результаты эксперимента. Тема РГЗ-2: «Технология изготовления и исследование Т-МЭМС» Разделы: 1. Назначение Т-МЭМС. 2. Конструкция и технология изготовления Т-МЭМС. 3. Зависимость от температуры значений $\alpha(T)$ для поликремния и SiO_2 . 4. Экспериментальная установка по исследованию Т-МЭМС. 5. Зависимость	Вопросы к экзамену: 1. Основные материалы, применяемые в технологии МСТ, их назначение и характеристики. 2. Технологии изотропного и анизотропного профилирования кремния: влажные и сухие методы профилирования. 3. Микро и наноэлектромеханические балочные резонаторы на основе кремния. 4. Поликремний: технология нанесения пленок. Остаточные механические напряжения. Пример использования поликремния в изготовлении электростатического микромотора. 5. Пористый кремний: технология получения пленок. Примеры использования. 6. Пленки диоксида кремния ФСС и БСС: способы получения. Остаточные механические напряжения. Использование данных пленок. 7. SOG-пленки: материалы для

			прогибов Т-МЭМС от температуры. Тема РГЗ-3: «Исследование термоактивационных особенностей проводимости пленок PbSnTe:In» Разделы: 1. Использование PbSnTe в качестве материала для ФПУ. 2. Исследование температурных зависимостей проводимости пленок PbSnTe:In методом термостимулированных токов. 3. Исследование поведения ловушек методом ТСТ. 4. Экспериментальная установка для измерений ТСТ при гелиевых температурах в PbSnTe:In. 5. Экспериментальные зависимости ТСТ в пленках PbSnTe:In. 6. Сравнение результатов эксперимента с моделью непрерывного или квазинепрерывного распределения уровней ловушек.	пленок, способы нанесения, назначение, остаточные напряжения. 8. Пленки poly-SiGe, poly-Ge: способы нанесения, назначение, остаточные напряжения. 9. Проводящие пленки в технологии МСТ и ИС: технологии нанесения. Примеры использования в элементах МСТ и ИС. 10. Пленки SiC: способы нанесения, назначение. Продольный микрорезонатор на пленке поли-SiC. Балочный наномеханический резонатор на пленке 3C-SiC. 11. Алмазные пленки в технологии МСТ: способы нанесения, назначение. Продольный микрорезонатор на алмазной пленке. 12. Пленки GaAs, InP и других A_{III}B_V материалов: способы нанесения, назначение. Балочный наномеханический резонатор на пленке GaAs.
ПК.3/НИ	у2. уметь выбирать практические варианты технологии изготовления элементной базы микроэлектроники и микросистем для решения инженерных задач	LIGA-процесс в технологии микросистем. Эффект прилипания в технологии микросистем. Сверхкритическая сушка. Самосборочные монослои. Виды и классификация сенсоров и сенсорных систем в зависимости от входного и выходного физического/химического воздействия Влажное и сухое изотропное и анизотропное	Тема РГЗ-4: «Лазер с перестраиваемым резонатором Раздел: 1. Разновидности лазеров с перестраиваемым резонатором. 2. Устройство встречно-штырьвого преобразователя	13. PZT керамики: разновидности, способы получения, применение. 14. Полимерные материалы в технологии МСТ: полиимид, SU-8, парилон. Примеры использования. 15. Базовые

		травление в технологии микросистем Глубокое реактивное ионное травление в технологии микросистем Двухсторонняя фотолитография. Методы субмикронной литографии. Диэлектрические пленки в технологии микросистем Карбид кремниевые и алмазные пленки в технологии микросистем Кремний, как основной материал для изготовления микросистем Осаждение диэлектрических пленок и поликристаллического кремния Плазмо-химическое травление в технологии микросистем. Физико-химические основы электростатического соединения кремния со стеклом. Технология изготовления сопел, гребенчатых актюаторов и акселерометров, сенсоров угловой скорости, микроклапанов и микронасосов Физические и химические эффекты преобразования в сенсорных системах	для перестройки резонатора. 3. Технологический процесс изготовления лазера с перестраиваемым резонатором. Тема РГЗ-5: «Применение МЭМС в биологических исследованиях» Разделы: 1. Перенос биологических жидкостей в микрокапиллярах. 2. Устройство и изготовления чипа для изучения полимеразной цепной реакции. Тема РГЗ-6 Разработка технологической схемы изготовления емкостного акселерометра. Тема РГЗ-7 Разработка технологической схемы изготовления ячейки инжекторного струйного принтера. Тема РГЗ-8 Разработка технологической схемы изготовления микрозеркала. Тема РГЗ-9 Разработка технологической схемы изготовления конденсатора переменной емкости по объемной технологии. Тема РГЗ-10 Разработка технологической	технологические процессы в технологии МСТ. 16. Двусторонняя фотолитография: назначение, примеры использования. 17. Влажное анизотропное травление кремния: травители, механизм травления, примеры использования. 18. Зависимость скорости травления от концентрации дырок в кремнии, p^+-стоп травление. Примеры использования. 19. Технология диодного стоп травления. Вольт-амперная характеристика процесса травления. Примеры использования. 20. Глубокое реактивное ионное травление (ГРИТ). Бош-процесс. Криогенное травление. Зависимость скорости травления от аспектного отношения. Эффект «выемки». 21. Оборудование для глубокого реактивного ионного травления. Примеры травления материалов методом ГРИТ. Примеры конструкций получаемых методом ГРИТ. 22. Технология электростатического соединения кремний-стекло. Назначение, примеры использования. 23. Технология
--	--	--	--	---

			схемы изготовления конденсатора переменной емкости по поверхностной технологии. Тема РГЗ-11 Разработка технологической схемы изготовления поликремниевого микромотора. Тема РГЗ-12 Разработка технологической схемы изготовления сенсора потока воздуха. Тема РГЗ-13 Разработка технологической схемы изготовления микрокатушки переменной индуктивности. Тема РГЗ-14 Разработка технологической схемы изготовления сенсора давления с поликремниевыми тензорезисторами. Тема РГЗ-15 Разработка технологической схемы изготовления сенсора давления с диффузионными тензорезисторами. Тема РГЗ-16 Разработка технологической схемы изготовления высокотемпературного сенсора давления на основе КНИ технологии. Тема РГЗ-17	прямого сращивания кремниевых пластин. Назначение, примеры использования. 24. Технология химико-механической полировки. Назначение, примеры использования.
--	--	--	---	--

			Разработка технологической схемы изготовления микросопел и микроканалов.	
ПК.3/НИ	у4. уметь проводить сквозное конструкторско-технологическое проектирование компонентов микросистемной техники, интеллектуальных микросистем, сенсоров и актюаторов	LIGA-процесс в технологии микросистем. Эффект прилипания в технологии микросистем. Сверхкритическая сушка. Самосборочные монослои. Виды и классификация сенсоров и сенсорных систем в зависимости от входного и выходного физического/химического воздействия Влажное и сухое изотропное и анизотропное травление в технологии микросистем Глубокое реактивное ионное травление в технологии микросистем Двухсторонняя фотолитография. Методы субмикронной литографии. Диэлектрические пленки в технологии микросистем Карбид кремниевые и алмазные пленки в технологии микросистем Кремний, как основной материал для изготовления микросистем Осаждение диэлектрических пленок и поликристаллического кремния Плазмо-химическое травление в технологии микросистем. Физико-химические основы электростатического соединения кремния со стеклом. Технология изготовления сопел, гребенчатых актюаторов и акселерометров, сенсоров угловой скорости, микроклапанов и микронасосов Физические и химические эффекты преобразования в сенсорных системах	Тема РГЗ-18 Разработка технологической схемы изготовления микрошарниров. РГЗ-19 Разработка технологической схемы изготовления сенсора угловой скорости. РГЗ-20 Разработка технологической схемы изготовления сенсора газа (окись углерода). РГЗ-21 Разработка технологической схемы изготовления микроклапана. РГЗ-22 Разработка технологической схемы изготовления микронасоса. РГЗ-23 Разработка технологической схемы изготовления микроклапана с использованием материала с памятью формы. РГЗ-24 Разработка технологической схемы изготовления сенсора инфракрасного	25. Технология получения пленок и структур методом Sol-Gel-процесса. Назначение, примеры использования. 26. Технологии гальванического осаждения и формовки. LIGA-процесс. Назначение, примеры использования. 27. Поверхностная микромашинная технология. Эффект прилипания. Сверхкритическая сушка, использование самосборочных слоев. 28. Фоторезист SU-8 и фоточувствительные стекла: использование этих материалов для изготовления микроканалов. 29. EFAB процесс: используемые материалы и конструкции. 30. Нелитографические методы микромашиной технологии: лазерная микрообработка, электроэрозионная микрообработка, ультразвуковая микрообработка, трафаретная микропечать. 31. Микроконтактная печать. 32. Технология наноприпечатной литографии. Термо- и UV-наноприпечатная

			излучения. РГЗ-25 Разработка технологической схемы изготовления решетчатого светового клапана. РГЗ-26 Разработка технологической схемы изготовления лазера с перестраиваемым резонатором. РГЗ-27 Разработка технологической схемы изготовления лазера с перестраиваемым резонатором. РГЗ-28 Разработка технологической схемы изготовления цифрового оптического переключателя	литография. 33. Материалы для поверхностной микромашинной технологии. Технология изготовления консольной балки из поликремния. 34. Комбинированная технология прямого срачивания кремниевых пластин и ГРИТ для создания МСТ структур. 35. Комбинированная технология ГРИТ и КНИ для создания МСТ структур. 36. Комбинированная технология ГРИТ и металлизации для создания МСТ структур.
--	--	--	--	---

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 3 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.3/НИ.

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

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

В 3 семестре обязательным этапом текущей аттестации является расчетно-графическое задание (работа) (РГЗ(Р)). Требования к выполнению РГЗ(Р), состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ(Р).

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

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенции ПК.3/НИ, 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 экзамена

по дисциплине «Материалы и процессы микросистемной техники», 3 семестр

1. Методика оценки

Экзамен 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 из диапазона вопросов _ 25 - 36_ (список вопросов приведен ниже). Время на подготовку ответов на вопросы 60 минут. В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 1

к экзамену по дисциплине «Материалы и процессы микросистемной техники»

1. Проводящие пленки в технологии МСТ и ИС: технологии нанесения. Примеры использования в элементах МСТ и ИС.
2. Полимерные материалы в технологии МСТ: полиимид, SU-8, парилон. Примеры использования.
3. Технология получения пленок и структур методом Sol-Gel-процесса. Назначение, примеры использования.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ Гайслер В.А.

(подпись)

(дата)

2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет 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 экзаменационный билет 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 непринципиальные ошибки.

- оценка составляет 30 баллов.
- Ответ на экзаменационный 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 35 баллов.
- Ответ на экзаменационный 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 технологического процесса и используемых конструкционных материалов, оценка составляет 40 баллов.

3. Шкала оценки

Оцениваемая работа в семестре	Максимальный балл	Минимальный балл	Максимальная оценка по дисциплине (ECTS)	Минимальная оценка по дисциплине (ECTS)
Практика	18	10	18	10
РГЗ(Р)	30	10	30	10
Экзамен	40	30	40	30
Подготовка к занятиям	12	6	12	6
Суммарный балл	100	56	98-100 (A+) «отлично»	50-59 (E) «удовлетворительно»

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

4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Материалы и процессы микросистемной техники»

1. Основные материалы, применяемые в технологии МСТ, их назначение и характеристики.
2. Технологии изотропного и анизотропного профилирования кремния: влажные и сухие методы профилирования.
3. Микро и наноэлектромеханические балочные резонаторы на основе кремния.
4. Поликремний: технология нанесения пленок. Остаточные механические напряжения. Пример использования поликремния в изготовлении электростатического микромотора.
5. Пористый кремний: технология получения пленок. Примеры использования.
6. Пленки диоксида кремния ФСС и БСС: способы получения. Остаточные механические напряжения. Использование данных пленок.
7. SOG-пленки: материалы для пленок, способы нанесения, назначение, остаточные напряжения.
8. Пленки poly-SiGe, poly-Ge: способы нанесения, назначение, остаточные напряжения.
9. Проводящие пленки в технологии МСТ и ИС: технологии нанесения. Примеры использования в элементах МСТ и ИС.
10. Пленки SiC: способы нанесения, назначение. Продольный микрорезонатор на пленке поли-SiC. Балочный наномеханический резонатор на пленке 3C-SiC.

11. Алмазные пленки в технологии МСТ: способы нанесения, назначение. Продольный микрорезонатор на алмазной пленке.
12. Пленки GaAs, InP и других $A_{III}B_V$ материалов: способы нанесения, назначение. Балочный наномеханический резонатор на пленке GaAs.
13. PZT керамики: разновидности, способы получения, применение.
14. Полимерные материалы в технологии МСТ: полиимид, SU-8, парилон. Примеры использования.
15. Базовые технологические процессы в технологии МСТ.
16. Двусторонняя фотолитография: назначение, примеры использования.
17. Влажное анизотропное травление кремния: травители, механизм травления, примеры использования.
18. Зависимость скорости травления от концентрации дырок в кремнии, p^+ -стоп травление. Примеры использования.
19. Технология диодного стоп травления. Вольт-амперная характеристика процесса травления. Примеры использования.
20. Глубокое реактивное ионное травление (ГРИТ). Бош-процесс. Криогенное травление. Зависимость скорости травления от аспектного отношения. Эффект «выемки».
21. Оборудование для глубокого реактивного ионного травления. Примеры травления материалов методом ГРИТ. Примеры конструкций получаемых методом ГРИТ.
22. Технология электростатического соединения кремний-стекло. Назначение, примеры использования.
23. Технология прямого сращивания кремниевых пластин. Назначение, примеры использования.
24. Технология химико-механической полировки. Назначение, примеры использования.
25. Технология получения пленок и структур методом Sol-Gel-процесса. Назначение, примеры использования.
26. Технологии гальванического осаждения и формовки. LIGA-процесс. Назначение, примеры использования.
27. Поверхностная микромашинная технология. Эффект прилипания. Сверхкритическая сушка, использование самосборочных слоев.
28. Фоторезист SU-8 и фоточувствительные стекла: использование этих материалов для изготовления микроканалов.
29. EFAV процесс: используемые материалы и конструкции.
30. Нелитографические методы микромашинной технологии: лазерная микрообработка, электроэрозионная микрообработка, ультразвуковая микрообработка, трафаретная микропечать.
31. Микроконтактная печать.
32. Технология наноимпринт литографии. Термо- и UV-наноимпринт литография.
33. Материалы для поверхностной микромашинной технологии. Технология изготовления консольной балки из поликремния.
34. Комбинированная технология прямого сращивания кремниевых пластин и ГРИТ для создания МСТ структур.
35. Комбинированная технология ГРИТ и КНИ для создания МСТ структур.
36. Комбинированная технология ГРИТ и металлизации для создания МСТ структур.

Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Материалы и процессы микросистемной техники», 3 семестр

1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания (работы) 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.

Оцениваемые позиции: Оценка осуществляется по глубине проработки всех структурных частей РГЗ.

2. Критерии оценки

Работа считается **не выполненной**, если выполнены не все части РГЗ(Р), 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(Р) 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(Р)

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 20 баллов.

Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если все если структурные части РГЗ(Р) 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 30 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) 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)
Практика	18	10	18	10
РГЗ(Р)	30	10	30	10
Экзамен	40	30	40	30
Подготовка к занятиям	12	6	12	6
Суммарный балл	100	56	98-100 (A+) «отлично»	50-59 (E) «удовлетворительно»

4. Примерный перечень тем РГЗ(Р)

1. Разработка технологической схемы изготовления емкостного акселерометра.
2. Разработка технологической схемы изготовления ячейки инжекторного струйного принтера.
3. Разработка технологической схемы изготовления микрозеркала.
4. Разработка технологической схемы изготовления конденсатора переменной емкости по объемной технологии.
5. Разработка технологической схемы изготовления конденсатора переменной емкости по поверхностной технологии.
6. Разработка технологической схемы изготовления поликремниевого микромотора.
7. Разработка технологической схемы изготовления сенсора потока воздуха.
8. Разработка технологической схемы изготовления микрокатушки переменной индуктивности.
9. Разработка технологической схемы изготовления сенсора давления с поликремниевыми тензорезисторами.

10. Разработка технологической схемы изготовления сенсора давления с диффузионными тензорезисторами.
11. Разработка технологической схемы изготовления высокотемпературного сенсора давления на основе КНИ технологии.
12. Разработка технологической схемы изготовления микросопел и микроканалов.
13. Разработка технологической схемы изготовления микрошарниров.
14. Разработка технологической схемы изготовления сенсора угловой скорости.
15. Разработка технологической схемы изготовления сенсора газа (окись углерода).
16. Разработка технологической схемы изготовления микроклапана.
17. Разработка технологической схемы изготовления микронасоса.
18. Разработка технологической схемы изготовления микроклапана с использованием материала с памятью формы.
19. Разработка технологической схемы изготовления сенсора инфракрасного излучения.
20. Разработка технологической схемы изготовления решетчатого светового клапана.
21. Разработка технологической схемы изготовления лазера с перестраиваемым резонатором.
22. Разработка технологической схемы изготовления лазера с перестраиваемым резонатором.
23. Разработка технологической схемы изготовления цифрового оптического переключателя.
24. Исследование термоэлектрических свойств катион-замещенных сульфидов $\text{CuCr}_{1-x}\text{Fe}_x\text{S}_2$.
25. Технология изготовления и исследование Т-МЭМС.
26. Исследование термоактивационных особенностей проводимости пленок PbSnTe:In .
27. Применение МЭМС в биологических исследованиях.