

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
Физико-химические основы процессов микро- и нанотехнологии

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

Курс: 3, семестр : 6

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	Вид деятельности	6
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	4
2	Всего часов	144
3	Всего занятий в контактной форме, час.	81
4	Лекции, час.	36
5	Практические занятия, час.	18
6	Лабораторные занятия, час.	18
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	18
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	7
10	Самостоятельная работа, час.	63
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	РГЗ
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, базовая

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. Илюшин В. А.

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.1 способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий; в части следующих результатов обучения:	
320. Знать физико-математические и физико-химические модели процессов нанотехнологии	
Компетенция ФГОС: ПК.2 готовность проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники; в части следующих результатов обучения:	
31. Знать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	
38. Знать фундаментальные основы процессов синтеза материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	
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:	
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	
33. иметь представление об основных промышленных процессах очистки полупроводниковых материалов	
34. знать возможности применения методов очистки и контроля чистоты полупроводниковых материалов	

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>Физико-химические основы процессов микро- и нанотехнологии</i>	
ПК.1.320 Знать физико-математические и физико-химические модели процессов нанотехнологии	
1.Знать физико-математические и физико-химические модели процессов адсорбции, зарождения новой фазы, нанесения, удаления и модифицирования вещества на микро- и наноуровне	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.2.31 Знать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	
2.Знать основные технологические процессы и оборудование, применяющиеся в производстве изделий микро- и нанoeлектроники, микро- и наносистемной техники.	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.2.38 Знать фундаментальные основы процессов синтеза материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	
3.Знать фундаментальные основы процессов адсорбции, зарождения новой фазы, нанесения, удаления и модифицирования вещества на микро- и наноуровне	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.8.31 Знать методы расчета технологических режимов изготовления элементной базы микроэлектроники, компонентов нано-и микросистемной техники	
4.Знать методы расчета технологических режимов изготовления элементной базы микроэлектроники, компонентов нано-и микросистемной техники	Лекции; Практические занятия; 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	
5.Знать физическую, химико-физическую и технологическую сущность процессов, протекающих при изготовлении микросистем; производственную гигиену: чистоту материалов и помещений; ЕСТД и её применение	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.8.33 иметь представление об основных промышленных процессах очистки полупроводниковых материалов	
6.иметь представление об основных промышленных процессах очистки полупроводниковых материалов	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы
ПК.8.34 знать возможности применения методов очистки и контроля чистоты полупроводниковых материалов	
7.знать возможности применения методов очистки и контроля чистоты полупроводниковых материалов	Лекции; Практические занятия; Лабораторные работы

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения
Семестр: 6			
Дидактическая единица: Классификация процессов микро- и нанотехнологии			
1. Системная модель технологического процесса: объект, воздействие, процесс. Классификация процессов микро- и нанотехнологии	0	2	2
Дидактическая единица: Методы удаления веществ			
2. Шлифование и полирование пластин. Механическое, лазерное и электронно-лучевое скрайбирование. Процессы химического травления: механизмы травления; оборудование, методы и среды для жидкостного и газового травления; локальное и анизотропное ориентационно-чувствительное травление; маскирующие, "жертвенные" и "стоп"-слои. Электрохимическое травление, получение пористого кремния. Химико-механическое полирование структур.	0	2	2, 3, 4, 7
3. Процессы сухого травления: классификация, оборудование.	0	2	2, 3, 6
Дидактическая единица: Методы модифицирования веществ			
4. Оборудование и методы окисления в газовой и жидких средах: высокотемпературное термическое сухое и влажное окисление, Электрохимическое окисление, теоретические модели окисления. Окисление и нитрирование в плазме.	0	2	1, 2, 3
5. Диффузия примесей: распределение примесей при диффузии, стадии загонки и разгонки примесей, оборудование и методы диффузии из газообразных, жидких и твердых источников.	0	2	1, 2, 3
6. Ионная имплантация: распределение примесей, оборудование и методы ионной имплантации. Высокоэнергетические сильноточные процессы ионной имплантации: окисление, нитрирование, протонирование, радиационно- стимулированная диффузия, химический синтез. Активация процессов при ионном легировании и химическом синтезе: термический и корпускулярно-лучевой отжиг.	0	2	1, 2, 3, 5, 7
Дидактическая единица: Методы нанесения веществ			

7. Оборудование и методы нанесения вещества в вакууме из молекулярных пучков: вакуум-термическое и электронно-лучевое испарение, молекулярно-лучевая эпитаксия. Оборудование и методы ионно-плазменного осаждения: катодное, магнетронное, реактивное распыления; ионно- и плазмохимическое осаждение.	0	2	1, 2, 3, 4
8. Оборудование и методы осаждения из газовой фазы: получение поликристаллического и аморфного гидрогенизированного кремния, оксида и нитрида кремния; пиролитическое осаждение металлов; газофазная эпитаксия кремния, бинарных и многокомпонентных соединений. Оборудование и методы осаждения из жидкой фазы: жидкофазная эпитаксия, электрохимическое осаждение слоев	0	2	1, 2, 3
Дидактическая единица: Литографические методы			
9. Классификация базовых методов литографии: фото-, рентгено-, электроно- и ионолитография. Литографический цикл: резисты и способы их нанесения, позитивные и негативные резисты; методы повышения адгезии, плазмостойкости; планаризация, предэкспозиционная обработка, проявление и сушка. Фотошаблоны. Аппаратура и способы совмещения и экспонирования. Пространственное разрешение. Эволюция процессов экспонирования: высокоэффективные источники дальнего ультрафиолета, оптическая литография с фазовым сдвигом, стереолитография, электроно-, ионо-, рентгенолитография.	0	2	2, 3, 5
Дидактическая единица: Металлизация			
10. Омические и выпрямляющие контакты. Однослойная и многослойная система металлизации на основе алюминия. Особенности металлизации с медными межсоединениями. Диэлектрические разделительные слои.	0	2	2, 3
Дидактическая единица: Физико-химические основы процессов нанотехнологии			
11. Основы физико-химии поверхности: Поверхностная энергия. Термодинамика плоских и искривленных поверхностей. Явления смачивания.	0	4	3
12. Поверхность твердого тела. Описание кристаллических поверхностей. Релаксация и реконструкция. Структурные дефекты реальных поверхностей. Модель террас, ступеней, изломов.	0	2	3, 6
13. Адсорбция на твердой поверхности. Описание поверхностей с адсорбатами. Кинетическая модель адсорбции. Изотермы адсорбции. Экспериментальные методы изучения адсорбции.	0	2	3
14. Формирование новой фазы. Явления смачивания. Уравнение Юнга. Гомогенное и гетерогенное зарождение. Критический размер зародыша.	0	2	3
15. Основные стадии и механизмы формирования слоев новой фазы: Зародышевый механизм роста Фольмера-Вебера. Механизм Франка-Ван-дер-Мерве. Послойный беззародышевый механизм. Механизм Странского-Крастанова. Спиральный механизм роста. Рост на фасетированных поверхностях.	0	2	3
16. Основы термодинамики растворов. Твердые и жидкие растворы. Идеальные, атермальные и регулярные растворы.	0	2	3, 5

17. Условия фазового и химического равновесия. Правило фаз Гиббса. Равновесие твердое тело - пар для бинарных соединений. Эпитаксиальные методы получения твердых растворов полупроводниковых твердых растворов.	0	2	3, 4, 6
---	---	---	---------

Таблица 3.2

Темы лабораторных работ	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 6				
Дидактическая единица: Методы удаления веществ				
1. Процессы химического жидкостного травления	0	4	2, 3, 4, 7	Травление шлифованных и полированных образцов кремния в растворах HF:HNO ₃ различного состава. Исследование зависимости скорости травления от состава травителя, состояния поверхности, перемешивания и других факторов. Изучение оптических методов контроля качества поверхности
Дидактическая единица: Методы модифицирования веществ				
2. Термическое окисление кремния	0	4	1, 2, 3, 5, 6	Термическое окисление кремния в сухом и влажном кислороде. Определение зависимости толщины окисла от времени окисления. Освоение методики определения толщины окисла по цвету пленки
Дидактическая единица: Методы нанесения веществ				
3. Нанесение металлических слоев вакуум-термическим методом.	0	4	2, 3, 4, 7	Получение пленок алюминия в установке УВН-2, определение толщины пленок методом микровзвешивания и с помощью интерференционного микроскопа МИИ-4, оценка адгезии пленок
Дидактическая единица: Литографические методы				
4. Перенос изображения методом контактной фотолитографии. Базовый цикл литографического процесса. Защита лабораторных работ.	0	6	2, 3	Контактная фотолитография по слоям диоксида кремния и алюминия. Изучение оборудования и основных операций базового цикла. Контроль качества операций с помощью оптической микроскопии.

Таблица 3.3

Темы практических занятий	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 6				
Дидактическая единица: Методы модифицирования веществ				

1. Диффузия примесей: распределение примесей при диффузии, стадии загонки и разгонки примесей. Поверхностное сопротивление.	4	4	1, 2, 3	Решение задач
2. Ионная имплантация: распределение примесей. Теория Линдхарда, Шарфа, Шиотта. Оборудование.	2	2	1, 2, 3, 4, 7	Решение задач
Дидактическая единица: Методы изоляции компонентов. Технологические маршруты производства схем на биполярных и полевых транзисторах				
3. Методы создания изолирующих областей в интегральных схемах. Маршруты изготовления интегральных схем на биполярных и полевых транзисторах.	2	2	2, 4	Презентации с последующим обсуждением
Дидактическая единица: Физико-химические основы процессов нанотехнологии				
4. Адсорбция на твердой поверхности.	4	4	3, 5, 6, 7	Решение задач
5. Основные стадии и механизмы формирования слоев новой фазы: Зародышевый механизм роста Фольмера-Вебера. Механизм Франка-Ван-дер-Мерве. Послойный беззародышевый механизм. Механизм Странского-Крастанова. Спиральный механизм роста. Рост на фасетированных поверхностях.	2	2	3, 6	Решение задач.
6. Термодинамика и кинетика эпитаксиального роста пленок, нанонитей, вискерсов, квантовых точек.	2	2	3	Обсуждение
7. Термодинамика роста твердых растворов полупроводниковых соединений методами молекулярно-лучевой и мос-гидридной эпитаксий	2	2	3	Обсуждение курсовых работ

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 6				
1	РГЗ	4	30	3
: Илюшин В. А. Процессы нанотехнологии : учебное пособие / В. А. Илюшин, А. А. Величко ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2004. - 107 с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000029072				
2	Подготовка к занятиям	1, 2, 3, 4, 5	20	0

Чтение учебно-методической литературы, поиск информации для подготовки рефератов и презентаций: Процессы микро- и нанотехнологии : методическое руководство к лабораторным работам для 3 курса РЭФ (направление 210100) заочной и дневной форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. В. А. Илюшин]. - Новосибирск, 2011. - 55 с. : ил., табл. Илюшин В. А. Процессы нанотехнологии : учебное пособие / В. А. Илюшин, А. А. Величко ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2004. - 107 с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000029072				
3	Дополнительная учебная деятельность	2, 3, 4	0	0
: Илюшин В. А. Процессы нанотехнологии : учебное пособие / В. А. Илюшин, А. А. Величко ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2004. - 107 с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000029072				
4	Подготовка к аттестации	1, 2, 3	13	4
Чтение учебно-методической литературы, конспектов: Процессы микро- и нанотехнологии : методическое руководство к лабораторным работам для 3 курса РЭФ (направление 210100) заочной и дневной форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. В. А. Илюшин]. - Новосибирск, 2011. - 55 с. : ил., табл. Илюшин В. А. Процессы нанотехнологии : учебное пособие / В. А. Илюшин, А. А. Величко ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2004. - 107 с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000029072				

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	e-mail
Контроль	e-mail
Размещение учебных материалов	e-mail; ЭБС

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять 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: 6		
<i>Лабораторная:</i>	10	20
Контролирующие материалы приводятся в "Процессы микро- и нанотехнологии : методическое руководство к лабораторным работам для 3 курса РЭФ (направление 210100) заочной и дневной форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. В. А. Илюшин]. - Новосибирск, 2011. - 55 с. : ил., табл."		
<i>Практические занятия:</i>	15	30
Контролирующие материалы приводятся в "Процессы микро- и нанотехнологии : методическое руководство к лабораторным работам для 3 курса РЭФ (направление 210100) заочной и дневной форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. В. А. Илюшин]. - Новосибирск, 2011. - 55 с. : ил., табл."		
<i>РГЗ:</i>	15	30
Контролирующие материалы приводятся в "Процессы микро- и нанотехнологии : методическое руководство к лабораторным работам для 3 курса РЭФ (направление 210100) заочной и дневной форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. В. А. Илюшин]. - Новосибирск, 2011. - 55 с. : ил., табл."		
<i>Зачет:</i>	10	20
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Процессы микро- и нанотехнологии : методическое руководство к лабораторным работам для 3 курса РЭФ (направление 210100) заочной и дневной форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. В. А. Илюшин]. - Новосибирск, 2011. - 55 с. : ил., табл."		

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	Зачет
ПК.1	320. Знать физико-математические и физико-химические модели процессов нанотехнологии		+
ПК.2	31. Знать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов и компонентов nano- и микросистемной техники		+
	38. Знать фундаментальные основы процессов синтеза материалов и компонентов nano- и микросистемной техники	+	+
ПК.8	31. Знать методы расчета технологических режимов изготовления элементной базы микроэлектроники, компонентов nano-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		+
	33. иметь представление об основных промышленных процессах очистки полупроводниковых материалов		+
	34. знать возможности применения методов очистки и контроля чистоты полупроводниковых материалов		+

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

7. Литература

Основная литература

1. 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.
2. Барыбин А. А. Электроника и микроэлектроника физико-технологические основы : учебное пособие для вузов по направлениям 550700 и 654100 "Электроника и микроэлектроника" / А. А. Барыбин. - М., 2006. - 423 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.
4. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий. В 2 т.. Т. 2 / [под общ. ред. Ю. Н. Коркишко]. - М., 2010. - 252 с. : ил., схемы, табл.
5. Илюшин В. А. Физикохимия наноструктурированных материалов : учебное пособие / В. А. Илюшин ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2013. - 105, [1] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000180741

Дополнительная литература

1. Курносов А. И. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем : учебное пособие для вузов по спец. "Полупроводники и диэлектрики" и "Полупроводниковые приборы". - М., 1986. - 367, [1] с. : ил.
2. Коледов Л. А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок : [учебное пособие для вузов] / Л. А. Коледов. - СПб. [и др.], 2008. - 399, [1] с.

3. Черняев В. Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров : учебник для вузов по специальности "Конструирование и производство радиоаппаратуры" / В. Н. Черняев. - Москва, 1987. - 463, [1] с. : ил.

4. Барыбин А. А. Физико-химия наночастиц, наноматериалов и наноструктур : [учебное пособие для вузов по специальностям "Проектирование и технология радиоэлектронных средств" и др.] / А. А. Барыбин, В. И. Томилин, Н. П. Томилина ; Сиб. федер. ун-т, [Ин-т инженер. физики и радиоэлектроники]. - Красноярск, 2011. - 243 с. : ил., граф., схемы

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 "Znanium.com" : <http://znanium.com/>

5. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Процессы микро- и нанотехнологии : методическое руководство к лабораторным работам для 3 курса РЭФ (направление 210100) заочной и дневной форм обучения / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост. В. А. Илюшин]. - Новосибирск, 2011. - 55 с. : ил., табл.

2. Илюшин В. А. Процессы нанотехнологии : учебное пособие / В. А. Илюшин, А. А. Величко ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2004. - 107 с. : ил. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000029072

8.2 Специализированное программное обеспечение

1 MathCAD

9. Материально-техническое обеспечение

Специальное оборудование

№	Наименование	Назначение
1	УСТАНОВКА 830-03	Формирование слоев диоксида кремния методом термического окисления в парах воды
2	УСТАНОВКА для сушки пластин	Исследование поверхности пластин после операций механической обработки, травления, очистки
3	Установка совмещения и экспонирования ЭМ-576А	Контактная фотолитография по слоям диоксида кремния, алюминия
4	УСТАНОВКА УВН-71р-3	Нанесение слоев алюминия вакуум-термическим методом
5	УСТАНОВКА УНФ	Нанесение слоев фоторезиста

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине **Физико-химические основы процессов микро- и нанотехнологии** 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.1/НИ способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий	з20. Знать физико-математические и физико-химические модели процессов нанотехнологии	Диффузия примесей: распределение примесей при диффузии, стадии загонки и разгонки примесей, оборудование и методы диффузии из газообразных, жидких и твердых источников. Ионная имплантация: распределение примесей, оборудование и методы ионной имплантации. Высокоэнергетические сильноточные процессы ионной имплантации: окисление, нитрирование, протонирование, радиационно-стимулированная диффузия, химический синтез. Активация процессов при ионном легировании и химическом синтезе: термический и корпускулярно-лучевой отжиг. Оборудование и методы нанесения вещества в вакууме из молекулярных пучков: вакуум-термическое и электронно-лучевое испарение, молекулярно-лучевая эпитаксия. Оборудование и методы ионно-плазменного осаждения: катодное, магнетронное, реактивное распыления; ионно- и плазмохимическое осаждение. Оборудование и методы окисления в газовой и жидких средах: высокотемпературное термическое сухое и влажное окисление, Электрохимическое окисление, теоретические модели окисления. Окисление и нитрирование в плазме. Оборудование и методы осаждения из газовой фазы:		Зачет, вопросы 5-12, 15-22

		получение поликристаллического и аморфного гидрогенизированного кремния, оксида и нитрида кремния; пиролитическое осаждение металлов; газофазная эпитаксия кремния, бинарных и многокомпонентных соединений. Оборудование и методы осаждения из жидкой фазы: жидкофазная эпитаксия, электрохимическое осаждение слоев Термическое окисление кремния		
ПК.2/НИ готовность проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	з1. Знать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	Диффузия примесей: распределение примесей при диффузии, стадии загонки и разгонки примесей, оборудование и методы диффузии из газообразных, жидких и твердых источников. Ионная имплантация: распределение примесей, оборудование и методы ионной имплантации. Высокоэнергетические сильноточные процессы ионной имплантации: окисление, нитрирование, протонирование, радиационно-стимулированная диффузия, химический синтез. Активация процессов при ионном легировании и химическом синтезе: термический и корпускулярно-лучевой отжиг. Ионно-плазменное травление: оборудование, методы и механизмы травления; ионно-лучевое, плазмохимическое, реактивное ионно-плазменное, ионно-химическое травление. Классификация базовых методов литографии: фото-, рентгено-, электроно- и ионолитография. Литографический цикл: резисты и способы их нанесения, позитивные и негативные резисты; методы повышения адгезии, плазмостойкости; планаризация, предэкспозиционная обработка, проявление и сушка. Фотошаблоны. Аппаратура и способы совмещения и экспонирования.		Зачет, вопросы 1-32

		Пространственное разрешение. Эволюция процессов экспонирования: высокоэффективные источники дальнего ультрафиолета, оптическая литография с фазовым сдвигом, стереолитография, электроно-, ионо-, рентгенолитография. Оборудование и методы нанесения вещества в вакууме из молекулярных пучков: вакуум-термическое и электронно-лучевое испарение, молекулярно-лучевая эпитаксия. Оборудование и методы ионно-плазменного осаждения: катодное, магнетронное, реактивное распыления; ионно- и плазмохимическое осаждение. Оборудование и методы окисления в газовой и жидких средах: высокотемпературное термическое сухое и влажное окисление, Электрохимическое окисление, теоретические модели окисления. Окисление и нитрирование в плазме. Оборудование и методы осаждения из газовой фазы: получение поликристаллического и аморфного гидрогенизированного кремния, оксида и нитрида кремния; пиролитическое осаждение металлов; газофазная эпитаксия кремния, бинарных и многокомпонентных соединений. Оборудование и методы осаждения из жидкой фазы: жидкофазная эпитаксия, электрохимическое осаждение слоев Омические и выпрямляющие контакты. Однослойная и многослойная система металлизации на основе алюминия. Особенности металлизации с медными межсоединениями. Диэлектрические разделительные слои. Системная модель технологического процесса: объект, воздействие, процесс. Классификация процессов микро- и нанотехнологии Шлифование и полирование пластин. Механическое, лазерное и электронно-		
--	--	---	--	--

		лучевое скрайбирование. Процессы химического травления: механизмы травления; оборудование, методы и среды для жидкостного и газового травления; локальное и анизотропное ориентационно-чувствительное травление; маскирующие, "жертвенные" и "стоп"-слои. Электрохимическое травление, получение пористого кремния. Химико-механическое полирование структур.		
ПК.2/НИ	38. Знать фундаментальные основы процессов синтеза материалов и компонентов nano- и микросистемной техники	Адсорбция на твердой поверхности. Описание поверхностей с адсорбатами. Кинетическая модель адсорбции. Изотермы адсорбции. Экспериментальные методы изучения адсорбции. Диффузия примесей: распределение примесей при диффузии, стадии загонки и разгонки примесей, оборудование и методы диффузии из газообразных, жидких и твердых источников. Ионная имплантация: распределение примесей, оборудование и методы ионной имплантации. Высокоточные процессы ионной имплантации: окисление, нитрирование, протонирование, радиационно-стимулированная диффузия, химический синтез. Активация процессов при ионном легировании и химическом синтезе: термический и корпускулярно-лучевой отжиг. Ионно-плазменное травление: оборудование, методы и механизмы травления; ионно-лучевое, плазмохимическое, реактивное ионно-плазменное, ионно-химическое травление. Классификация базовых методов литографии: фото-, рентгено-, электроно- и ионолитография. Литографический цикл: резисты и способы их нанесения, позитивные и негативные резисты; методы повышения адгезии,	РГЗ, разделы 1-3	Зачет, вопросы 3-45

		плазмостойкости; планаризация, предэкспозиционная обработка, проявление и сушка. Фотошаблоны. Аппаратура и способы совмещения и экспонирования. Пространственное разрешение. Эволюция процессов экспонирования: высокоэффективные источники дальнего ультрафиолета, оптическая литография с фазовым сдвигом, стереолитография, электроно-, ионо-, рентгенолитография. Оборудование и методы нанесения вещества в вакууме из молекулярных пучков: вакуум-термическое и электронно-лучевое испарение, молекулярно- лучевая эпитаксия. Оборудование и методы ионно-плазменного осаждения: катодное, магнетронное, реактивное распыления; ионно- и плазмохимическое осаждение. Оборудование и методы окисления в газовой и жидких средах: высокотемпературное термическое сухое и влажное окисление, Электрохимическое окисление, теоретические модели окисления. Окисление и нитрирование в плазме. Оборудование и методы осаждения из газовой фазы: получение поликристаллического и аморфного гидрогенизированного кремния, оксида и нитрида кремния; пиролитическое осаждение металлов; газофазная эпитаксия кремния, бинарных и многокомпонентных соединений. Оборудование и методы осаждения из жидкой фазы: жидкофазная эпитаксия, электрохимическое осаждение слоев Омические и выпрямляющие контакты. Однослойная и многослойная система металлизации на основе алюминия. Особенности металлизации с медными межсоединениями. Диэлектрические разделительные слои.		
--	--	--	--	--

		Основные стадии и механизмы формирования слоев новой фазы: Зародышевый механизм роста Фольмера-Вебера. Механизм Франка-Ван-дер-Мерве. Послойный беззародышевый механизм. Механизм Странского-Крастанова. Спиральный механизм роста. Рост на фасетированных поверхностях. Основы термодинамики растворов. Твердые и жидкие растворы. Идеальные, атермальные и регулярные растворы. Основы физико-химии поверхности: Поверхностная энергия. Термодинамика плоских и искривленных поверхностей. Явления смачивания. Поверхность твердого тела. Описание кристаллических поверхностей. Релаксация и реконструкция. Структурные дефекты реальных поверхностей. Модель террас, ступеней, изломов. Формирование новой фазы. Явления смачивания. Уравнение Юнга. Гомогенное и гетерогенное зарождение. Критический размер зародыша. Шлифование и полирование пластин. Механическое, лазерное и электронно-лучевое скрайбирование. Процессы химического травления: механизмы травления; оборудование, методы и среды для жидкостного и газового травления; локальное и анизотропное ориентационно-чувствительное травление; маскирующие, "жертвенные" и "стоп"-слои. Электрохимическое травление, получение пористого кремния. Химико-механическое полирование структур.		
ПК.8/ПТ готовность использовать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов, компонентов нано- и микросистемной	з1. Знать методы расчета технологических режимов изготовления элементной базы микроэлектроники, компонентов нано-и микросистемной техники	Методы создания изолирующих областей в интегральных схемах. Маршруты изготовления интегральных схем на биполярных и полевых транзисторах. Шлифование и полирование пластин. Механическое, лазерное и электронно-лучевое скрайбирование. Процессы химического травления:	РГЗ, разделы 1-3	

техники		механизмы травления; оборудование, методы и среды для жидкостного и газового травления; локальное и анизотропное ориентационно-чувствительное травление; маскирующие, "жертвенные" и "стоп"-слои. Электрохимическое травление, получение пористого кремния. Химико-механическое полирование структур.		
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	Ионная имплантация: распределение примесей, оборудование и методы ионной имплантации. Высокоэнергетические сильноточные процессы ионной имплантации: окисление, нитрирование, протонирование, радиационно-стимулированная диффузия, химический синтез. Активация процессов при ионном легировании и химическом синтезе: термический и корпускулярно-лучевой отжиг. Термическое окисление кремния		Зачет, вопросы 19-22
ПК.8/ПТ	33. иметь представление об основных промышленных процессах очистки полупроводниковых материалов	Поверхность твердого тела. Описание кристаллических поверхностей. Релаксация и реконструкция. Структурные дефекты реальных поверхностей. Модель террас, ступеней, изломов.		Зачет, вопросы 1-2
ПК.8/ПТ	34. знать возможности применения методов очистки и контроля чистоты полупроводниковых материалов	Нанесение металлических слоев вакуум-термическим методом. Шлифование и полирование пластин. Механическое, лазерное и электронно-лучевое скрайбирование. Процессы химического травления: механизмы травления; оборудование, методы и среды для жидкостного и газового травления; локальное и анизотропное ориентационно-чувствительное травление; маскирующие, "жертвенные" и "стоп"-слои. Электрохимическое травление, получение пористого кремния. Химико-механическое полирование структур.		Зачет, вопросы 4, 5, 13, 14

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 6 семестре - в форме дифференцированного зачета, который направлен на оценку сформированности компетенций ПК.1/НИ, ПК.2/НИ, ПК.8/ПТ.

Зачет проводится в устной форме, по билетам.

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

В 6 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 учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ПК.1/НИ, ПК.2/НИ, 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 «Физико-химические основы процессов микро- и нанотехнологии», 6
семестр

1. Методика оценки

Зачет проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-16, второй вопрос из диапазона вопросов 17-32, третий - из диапазона вопросов 33-45 (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 №

по дисциплине «Физико-химические основы процессов микро- и нанотехнологии»

-
1. Теоретический вопрос
 2. Теоретический вопрос.
 3. Теоретический вопрос.

Утверждаю: зав. кафедрой ППиМЭ _____ д.ф.м.н. Гайслер В.А.
_____ 2017 г.

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, оценка составляет менее 10 баллов.
- Ответ на билет для зачета засчитывается на **пороговом** уровне, если теоретическое

содержание курса освоено частично, студент дает определение основных понятий, знает технологическое оборудование, допускает непринципиальные ошибки, оценка составляет 10-13 *баллов*.

- Ответ на билет для зачета засчитывается на **базовом** уровне, если теоретическое содержание курса освоено полностью, студент знает технологическое оборудование и базовые технологические процессы, способен обосновать выбор и режимы проведения технологических процессов (возможны, не существенные ошибки), оценка составляет 14-16 *баллов*.
- Ответ на билет для зачета засчитывается на **продвинутом** уровне, если теоретическое содержание курса освоено полностью, студент знает технологическое оборудование и базовые технологические процессы, способен обосновать выбор и режимы проведения технологических процессов, знает способы их оптимизации, качество выполнения заданий оценено числом баллов, близким к максимальному, оценка составляет 17-20 *баллов*.

3. Шкала оценки

Оцениваются следующие виды текущей деятельности обучающихся в семестре:

- лабораторные работы, максимальное количество баллов — 20
- практические занятия, максимальное количество баллов — 30
- РГЗ, максимальное количество баллов — 30
- зачет, максимальное количество баллов — 20

К зачету допускается студент, набравший за текущую деятельность минимум 40 баллов из 80 возможных.

Зачет считается сданным, если сумма баллов составляет не менее 10 (из 20 возможных).

Максимальное суммарное количество баллов по дисциплине — 100.

В общей оценке по дисциплине баллы за зачет учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины. Итоговая оценка выставляется по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS.

4. Вопросы к зачету по дисциплине «Физико-химические основы процессов микро- и нанотехнологии»

1. Технология, технологический процесс.
2. Классификация процессов микро- и нанотехнологии. Стандартизация базовых операций.
3. Производственная гигиена. Классификация производственных помещений по чистоте воздушной среды и микроклимату, источники загрязнений, способы обеспечения и поддержания чистоты. Чистота материалов.
4. Физико-химические методы очистки поверхности: Шлифование и полирование пластин. Технология химической обработки подложек.
5. Вакуум-термическое и электронно-лучевое испарение.
6. Молекулярно-лучевая эпитаксия..
7. Оборудование и методы ионно-плазменного осаждения: катодное, магнетронное, реактивное ионно-плазменное распыление.
8. Плазмохимическое осаждение.

9. Химическое осаждение из газовой фазы. Получение поликристаллического и аморфного гидрогенизированного кремния, пиролитическое осаждение металлов.
10. Химическое осаждение из газовой фазы. Получение оксида и нитрида кремния.
11. Газофазная эпитаксия кремния. Оборудование.
12. Газофазная эпитаксия бинарных и многокомпонентных соединений. МОС-гидридная эпитаксия.
13. Жидкостное травление кремния. Кинетика процесса травления. Селективное и полирующее травление.
14. Процессы сухого травления. Классификация. Оборудование.
15. Высокотемпературное термическое сухое и влажное окисление. Кинетика процесса окисления. Параметры качества диэлектрических пленок. Электрохимическое окисление.
16. Диффузия примесей: распределение примесей при диффузии, стадии загонки и разгонки примесей.
17. Оборудование и методы диффузии из газообразных, жидких и твердых источников. Особенности диффузии В, Р, As и Sb в Si и SiO₂.
18. Контроль параметров диффузионных структур. Типы диффузантов.
19. Ионная имплантация: распределение примесей, оборудование и методы ионной имплантации.
20. Физические принципы процесса ионного легирования (теория ЛШШ). Пробег и дисперсия пробега имплантированных ионов. Доза имплантированных ионов. Эффект каналирования.
21. Образование радиационных дефектов при ионной имплантации. Аморфизация. Активация процессов при ионном легировании: термический и корпускулярно-лучевой отжиг.
22. Высокоэнергетические высокоточные процессы ионной имплантации: окисление, нитрирование, протонирование, радиационно-стимулированная диффузия.
23. Основные характеристики и оборудование базовых методов литографии: фото-, рентгено-, электроно- и ионолитографии.
24. Литографический цикл: резисты и способы их нанесения. Фотошаблоны.
25. Фотолитография: Аппаратура и способы совмещения и экспонирования. Пространственное разрешение.
26. Эволюция процессов экспонирования. Оптическая литография высокого разрешения.
27. Нанолитография.
28. Металлизация.
29. Сборка и герметизация микроэлектронных устройств.
30. Способы изоляции компонентов.
31. Технология производства ИС на биполярных транзисторах с комбинированной изоляцией.
32. КМОП-технология производства ИС.
33. Поверхностное натяжение. Уравнение Юнга-Лапласа.
34. Термодинамика плоских и искривленных поверхностей. Уравнение Кельвина.
35. Капиллярные явления.
36. Поверхность твердого тела. Атомная структура чистых поверхностей. Релаксация и реконструкция.
37. Модель террас-ступеней-изломов.
38. Адсорбция на твердой поверхности. Кинетика адсорбции.

39. Изотермы адсорбции.
40. Формирование новой фазы. Гомогенное и гетерогенное зарождение.
41. Механизм роста Фольмера-Вебера. Механизм Франка-Ван-дер-Мерве.
42. Послойный беззародышевый механизм. Механизм Странского-Крастанова.
43. Спиральный механизм роста. Рост на фасетированных поверхностях.
44. Основы термодинамики растворов.
45. Эпитаксиальные методы получения твердых растворов полупроводниковых материалов.

Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Физико-химические основы процессов микро- и нанотехнологии», 6
семестр

1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания (работы) по дисциплине студенты должны выполнить термодинамический анализ роста структур $A^{III}B^V$ методом молекулярно-лучевой эпитаксии.

Обязательные структурные части РГЗ:

1. Титульный лист
2. Основные свойства выбранного твердого раствора или бинарного соединения $A^{III}B^V$.
Примеры приборных структур с использованием выбранного соединения.
3. Расчет температурной зависимости скорости роста и состава (только для твердых растворов) эпитаксиальных пленок.
4. Исследование влияния отношения давлений потоков элементов V и III групп на температурную зависимость скорости роста и состава (только для твердых растворов).
5. Сравнение с экспериментальными данными.
6. Список литературы.

Оцениваемые позиции: наличие отчета, результаты собеседования по расчетам заданий.

2. Критерии оценки

- Работа считается **невыполненной**, если допущены серьезные ошибки в третьей части, оценка составляет менее 15 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части РГЗ(Р) выполнены формально, из расчетной части правильно выполнен только третий пункт задания, оценка составляет 15-19 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если правильно выполнены расчетные части РГЗ (пункты 3 и 4), некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат несущественные ошибки, оценка составляет 20-24 баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если термодинамический анализ процесса роста выполнен в полном объеме, качество выполнения всех заданий оценено числом баллов, близким к максимальному, оценка составляет 25-30 баллов.

3. Шкала оценки

РГЗ считается выполненным, если студент набрал не менее 15 баллов (из 30 возможных).

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины. Максимальное суммарное количество баллов по дисциплине — 100.

Итоговая оценка выставляется по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS.

4. Примерный перечень тем РГЗ(Р)

1. Термодинамический анализ роста структур AlGaAs методом молекулярно-лучевой эпитаксии.

Другие задания отличаются от приведенного выбором иного полупроводникового соединения группы $A^{III}B^V$ (бинарного или тройного).