

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

УТВЕРЖДАЮ»

Председатель ученого совета ФРТЭ

_____ В.А. Небольсин

«___» _____ 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«МИКРО- И НАНОСИСТЕМЫ НА БАЗЕ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ»

Закреплена за кафедрой: полупроводниковой электроники и наноэлектроники (ППЭНЭ)

Направление подготовки (специальности): 28.03.02 «Наноинженерия»

Профиль: «Инженерные нанотехнологии в приборостроении»

Часов по УП: 144 / Часов по РПД: 144

Часов по УП (без учета на экзамены): 144 / Часов по РПД: 144

Часов на самостоятельную работу по УП: 72 (50 %)

Часов на самостоятельную работу по РПД: 72 (50 %)

Общая трудоемкость в ЗЕТ: 4

Виды контроля в семестрах (на курсах): Экзамены —; Зачеты 7; Курсовые проекты —;

Курсовые работы —.

Форма обучения: очная. **Срок обучения:** нормативный

Распределение часов дисциплины по семестрам

Вид занятий	№ семестров, число учебных недель в семестрах																	
	1/18		2/18		3/18		4/18		5/18		6/18		7/18		8/12		Итого	
	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД
Лекции													36	36			36	36
Лабораторные													36	36			36	36
Практические													—	—			—	—
Ауд. занятия													72	72			72	72
Сам. работа													72	72			72	72
Итого													144	144			144	144

Программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) — государственные требования к минимуму содержания и уровня подготовки бакалавра по направлению подготовки 28.03.02 «Наноинженерия». Утвержден приказом Министерства образования Российской Федерации от 3 декабря 2015 г. № 1414.

Программу составил канд. техн. наук, доцент

Г.И. Липатов

Рецензент: д-р техн. наук, профессор

С.А. Акулинин

Рабочая программа дисциплины составлена на основании учебного плана подготовки бакалавров по направлению 28.03.02 «Наноинженерия», профиль «Инженерные нанотехнологии в приборостроении».

Рабочая программа дисциплины рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ППЭНЭ.

Протокол № 5 от «14» января 2016 г.

Заведующий кафедрой ППЭНЭ

С.И. Рембеза

Рассмотрено и одобрено на заседании методической комиссии ФРТЭ.

Протокол № ____ от «22» января 2016 г.

Председатель методической комиссии ФРТЭ

А.Г. Москаленко

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1	Целью изучения дисциплины «Микро- и наносистемы на базе 3D-технологий» является формирование у обучающихся знаний о методах повышения степени интеграции и функциональности изделий микросистемной техники
1.2	Для достижения цели ставятся задачи приобретения студентами знаний:
1.2.1	об основных направлениях в технологии производства 3D изделий
1.2.2	о конструктивных особенностях, принципах функционирования и технических характеристиках оборудования, применяемого в производстве 3D изделий

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Цикл (раздел) ОПОП: вариативная часть		Код дисциплины в УП: Б1.В.ДВ.6.1
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося: Б1.Б.5 «Физика» Б1.Б.6 «Химия» Б1.Б.16 «Физико-химические основы нанотехнологии» Б1.Б.17 «Материаловедение наноматериалов и наносистем» Б1.В.ОД.9 «Процессы получения наноматериалов и наносистем»	
2.2	Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: Б1.В.ОД.10 «Микроэлектромеханические системы» Выпускная квалификационная работа	

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Код и наименование компетенции	
ОПК-1	способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и экспериментального исследования

В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ОБУЧАЮЩИЙСЯ ДОЛЖЕН

3.1	Знать: назначение, физико-химические основы, методы выполнения основных технологических процессов производства микро- и наносистем на базе 3D технологий (ОПК-1).
3.2	Уметь: выбирать последовательность и режимы проведения технологических процессов производства изделий микро- и наносистем на базе 3D технологий (ОПК-1).
3.3	Владеть: методами расчета режимов выполнения основных технологических процессов производства изделий микро- и наносистем на базе 3D технологий (ОПК-1).

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость в часах				
			Лекции	Практ. занятия	Лаб. работы	СРС	Всего часов
1	Эволюция технологий интеграции и последовательные этапы 3D сборки микросистем с использованием технологии TSV	1—3	6			8	14
2	Технологии создания глубоких отверстий в кремнии	4—8	10		12	20	42
3	Технологии заполнения отверстий в кремнии металлом	9—12	8		12	24	44

4	Технологии соединения пластин	13—18	12		12	20	44
Итого часов:			36		36	72	144

4.1 Лекции

Неделя семестра	Тема и содержание лекции	Объем часов
1 Эволюция технологий интеграции и последовательные этапы 3D сборки микросистем с использованием технологии TSV		
1	Пути повышения степени интеграции ИМС с использованием методов 3D сборки	2
2	Технология сквозных отверстий через кремний (TSV) как метод повышения функциональности микросистем	2
3	Технологии сборки: кристалл-на-кристалле, пластина-на-пластине, корпус-на-корпусе	2
2 Технологии создания глубоких отверстий в кремнии		
4	Технологии создания глубоких/сквозных отверстий в кремнии	2
5	Глубокое реактивное ионно-плазменное травление кремния	2
6	Способы получения плазмы и ее характеристики	2
7	Процессы взаимодействия активных частиц плазмы с поверхностью твердого тела	2
8	Системы глубокого реактивного ионно-плазменного травления кремния	2
3 Технологии заполнения отверстий в кремнии металлом		
9	Заполнение отверстий металлом с использованием дамасской технологии	2
10	Технологии осаждения слоев металлов	2
11	Технология электроиндуцированного осаждения меди	2
12	Химико-механическая полировка и утонение пластин	2
4 Технологии соединения пластин		
13	Технология соединения пластин	2
14	Способы пайки на операции сборки	2
15	Соединения клеями и другими адгезивами	2
16	Беспроволочные методы формирования внутренних межсоединений	2
17	Контроль качества межсоединений	2
18	Контроль качества соединения пластин	2
Итого часов:		36

4.2 Практические занятия — не предусмотрены

4.3 Лабораторные работы

Неделя семестра	Наименование лабораторной работы	Объем часов	Виды контроля	
2 Технологии создания глубоких отверстий в кремнии				
2	Плазмохимический метод глубокого травления кремния	4	Проверка отчета по лабораторной работе	
4	Исследование влияния загрузки на скорость плазмохимического травления кремния	4		
6	Оптимизация параметров процесса глубокого плазмохимического травления кремния	4		
3 Технологии заполнения отверстий в кремнии металлом				
8	Изучение процесса электрохимического осаждения меди	4		
10	Влияние режимов нестационарного электролиза и органических добавок в составе электролитов меднения на скорость осаждения меди	4		

12	Изучение процесса химико-механического полирования кремния	4	
4 Технологии соединения пластин			
14	Оценка смачивания и растекания припоя по паяемой поверхности	4	
16	Контроль прочности соединения пластин и кристаллов	4	
18	Скрайбирование и прошивка отверстий в пластинах с помощью лазера	4	
Итого часов:		36	

4.4 Самостоятельная работа студента (СРС)

Неделя семестра	Содержание СРС	Виды контроля	Объем часов
3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17	Проработка материала лекций с использованием рекомендуемой литературы	Опрос	50
2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18	Подготовка к лабораторным работам	Ответы на контрольные вопросы	18
6, 12	Подготовка к контрольным работам	Выполнение контрольного задания	4
Итого часов:			72

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В рамках изучения дисциплины предусмотрены следующие образовательные технологии:	
5.1	Лекции
5.2	Лабораторные работы
5.3	Самостоятельная работа
5.4	Консультации по всем вопросам учебной программы

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

6.1	Контрольные вопросы и задания
6.1.1	Для текущего контроля успеваемости используются контрольные вопросы, помещенные в конце каждой лабораторной работы
6.1.2	В качестве заданий предусмотрены выдаваемые для самостоятельного решения задачи
6.2	Темы письменных работ не предусмотрены
6.3	Другие виды контроля не предусмотрены

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1 Рекомендуемая литература				
№ п/п	Авторы/составители	Заглавие	Вид и годы издания	Обеспеченность
7.1.1 Основная литература				
Л1.1				
7.1.2 Дополнительная литература				
Л2.1	Бхушан Б.	Справочник Шпрингера по нанотехнологиям (в 3-х томах) / Под ред. Б. Бхушана. М.: Техносфера, 2010.	Справочник, 2010	1
Л2.2	Черненко В.И., Литовченко К.И., Па-	Прогрессивные импульсные и переменноточковые режимы электролиза. Киев: Наук. думка, 1988. 176	1988	

	панова И.И.	с.		
Л2.3	Реутов О.А., Курц А.Л., Бутин К.П.	Органическая химия. В 4-х частях. Ч. 4. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. 726 с.	Учеб. пособие, 2004	
7.1.3 Методические разработки				
7.1.4 Программное обеспечение и Интернет-ресурсы				
1	Системы компьютерной математики MathCAD, MATLAB, Maple			
2	International technology roadmap for semiconductors (ITRS) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://public.itrs.net .			

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1	Учебный компьютерный класс, оснащенный компьютерными программами для выполнения расчетов, и рабочими местами для самостоятельной подготовки обучающихся с выходом в Интернет
8.2	Контрольно-измерительное оборудование
8.3	Презентации и учебные видеофильмы

9. СТРУКТУРА И СОСТАВ ФОНДОВ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Фонды оценочных средств по дисциплине представляют собой: перечень вопросов для рейтинговых и контрольных мероприятий.

1. Каковы основные факторы развития микросистемной техники?
2. Что такое плазма? Сформулируйте условия существования плазмы.
3. В чем причина неравновесности газоразрядной плазмы пониженного давления?
4. Назовите основные виды процессов под действием электронного удара и их кинетические характеристики.
5. В чем отличие между упругими и неупругими соударениями электронов с атомами и молекулами?
6. В чем смысл термина «сечение» процесса? Какова связь между сечением и коэффициентом скорости химической реакции?
7. Что описывает функция распределения электронов по энергиям? Поясните смысл этого понятия.
8. Что такое амбиполярная диффузия?
9. Что такое «плавающий» потенциал? Какими параметрами плазмы он определяется?
10. Охарактеризуйте типовые конструкции плазмохимических реакторов с использованием ВЧ разряда.
11. Охарактеризуйте методы соединения пластин при стековой сборке.
12. По каким признакам классифицируются процессы взаимодействия активных частиц плазмы с поверхностью твердого тела?
13. Охарактеризуйте эффекты взаимодействия ускоренных ионов с поверхностью.
14. Что такое коэффициент распыления? Какими параметрами он определяется?
15. Что включает понятие многостадийности гетерогенного плазменного процесса? Что такое лимитирующая стадия процесса?
16. Назовите режимы протекания гетерогенной химической реакции в плазме. В чем заключаются их отличия?
17. Какими факторами определяется зависимость скорости гетерогенного плазменного процесса от операционных параметров процесса?
18. Какими параметрами характеризуются процессы плазменного травления материалов? Что такое изотропное и анизотропное травление?
19. Охарактеризуйте механизм реактивного ионно-плазменного травления.
20. Опишите процесс травления кремния с участием радикалов $\bullet\text{CF}_3$.

21. Какие параметры процесса и почему влияют на скорость травления в плазме?
22. Что понимают под активностью раствора электролита?
23. Что такое двойной электрический слой?
24. Что такое перенапряжение?
25. Что такое поляризация электрода?
26. Что понимают под потенциалами электродным и электрохимическим?
27. Что понимают под числом переноса?
28. Что такое водородная шкала?
29. Почему перемешивание ускоряет диффузию?
30. Что вызывает градиент электрического потенциала?

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель ученого совета ФРТЭ

_____ В.А. Небольсин

« ____ » _____ 20 ____ г.

Лист регистрации изменений (дополнений) УМКД

«Микро- и наносистемы на базе 3D-технологий»

В УМКД вносятся следующие изменения (дополнения):

Изменения (дополнения) в УМКД обсуждены на заседании кафедры полупроводниковой электроники и нанoeлектроники.

Протокол № _____ от « ____ » _____ 20 ____ г.

Зав. кафедрой ППЭНЭ

С.А. Рембеза

Изменения (дополнения) рассмотрены и одобрены методической комиссией ФРТЭ

Председатель методической комиссии ФРТЭ

А.Г. Москаленко

«Согласовано»

С.А. Рембеза

Карта обеспеченности рекомендуемой литературой

№ п/п	Авторы/ составители	Заглавие	Вид и годы издания	Обеспе- ченность
1. Основная литература				
Л1.1				
2. Дополнительная литература				
Л2.1	Бхушан Б.	Справочник Шпрингера по нанотехнологиям (в 3-х томах) / Под ред. Б. Бхушана. М.: Техносфера, 2010.	Справоч- ник, 2010	1
3. Методические разработки				

Зав. кафедрой ППЭНЭ

С.А. Рембеза

Директор НТБ

Т.И. Буковшина

Лист регистрации изменений

Порядковый номер изменения	Раздел, пункт	Вид изменения (заменить, аннулировать, добавить)	Номер и дата приказа об изменении	Фамилия и инициалы, подпись лица, внесшего изменение	Дата внесения изменения