

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
«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В НАНОТЕХНОЛОГИИ»

Закреплена за кафедрой: полупроводниковой электроники и наноэлектроники (ППЭНЭ)

Направление подготовки (специальности): 28.03.02 «Наноинженерия»

Профиль: «Инженерные нанотехнологии в приборостроении»

Часов по УП: 180 / **Часов по РПД:** 180

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

Часов на самостоятельную работу по УП: 72 (40 %)

Часов на самостоятельную работу по РПД: 72 (40 %)

Общая трудоемкость в ЗЕТ: 5

Виды контроля в семестрах (на курсах): Экзамены 7; Зачеты —; 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	
	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД
Лекции													18	18		
Лабораторные													18	18		
Практические													36	36		
Ауд. занятия													72	72		
Сам. работа													72	72		
Экзамен													36	36		
Итого													180	180		

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 «Технологические системы в нанотехнологии» является формирование у обучающихся знаний о методах и способах, применяемые в нанотехнологиях для получения, диагностики и контроля наноматериалов
1.2	Для достижения цели ставятся задачи приобретения студентами знаний:
1.2.1	о классификации основных технологических процессах производства изделий микро- и нанoeлектроники и оборудовании
1.2.2	о физических основах технологических процессов производства изделий микро- и нанoeлектроники
1.2.3	об использовании технологических процессов для решения задач нанoинженерии

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Цикл (раздел) ОПОП: базовая часть		Код дисциплины в УП: Б1.Б.18
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося: Б1.Б.16 «Физико-химические основы нанотехнологии», 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.13 «Технологическое оборудование в производстве изделий микро- и нанoeлектроники»	

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: основные технологические процессы микро- и нанoeлектроники, принципы работы технологического оборудования, современные проблемы микро- и нанотехнологий (ОПК-1)
3.2	Уметь: грамотно разрабатывать маршруты технологических процессов и проводить эксперименты, анализировать и объяснять полученные данные и результаты (ОПК-1)
3.3	Владеть: методами расчета технологических процессов, навыками работы на технологическом оборудовании (ОПК-1)

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость в часах					
			Лек-ции	Практ. занятия	Лаб. работы	СРС	Экз.	Всего часов
1	Технологические особенности и техническая реализация методов получения пленок полупроводников и диэлектрических материалов	1—6	6	12	4	24		46
2	Технологические особенности и техническая реализация методов получения металлических пленок	7—12	6	12	4	24		46

3	Технологические особенности и техническая реализация методов литографии и микрообработки	13—18	6	12	10	24		52
4	Подготовка к экзамену						36	36
Итого часов:			18	36	18	72	36	180

4.1 Лекции

Неделя семестра	Тема и содержание лекции	Объем часов
1 Технологические особенности и техническая реализация методов получения пленок полупроводников и диэлектрических материалов		
2, 4	Традиционные методы формирования пленок —химическое осаждение из газовой фазы, молекулярно-лучевая эпитаксия	4
6	Методы, основанные на использовании сканирующих зондов	2
2 Технологические особенности и техническая реализация методов получения металлических пленок		
8	Вакуум-термическое осаждение	2
10	Магнетронное распыление	2
12	Электрохимическое осаждение	2
3 Технологические особенности и техническая реализация методов литографии и микрообработки		
14	Фотолитография в ультрафиолетовом диапазоне длин волн	2
16	Электронно-лучевая литография	2
18	Нанопечать	2
Итого часов:		18

4.2 Практические занятия

Неделя семестра	Наименование лабораторной работы	Объем часов	Виды контроля
1 Технологические особенности и техническая реализация методов получения пленок полупроводников и диэлектрических материалов			Текущий контроль выполнения учебных заданий
1	Химическое осаждение из газовой фазы	2	
2	Плазмохимическое осаждение	2	
3	Молекулярно-лучевая эпитаксия	2	
4	Электрохимическое оксидирование металлов и полупроводников	2	
5	Атомная инженерия	2	
6	Зондовые методы формирования наноструктур	2	
2 Технологические особенности и техническая реализация методов получения металлических пленок			
7	Вакуум-термическое осаждение	2	
8	Магнетронное распыление	2	
9	Атомное послойное осаждение	2	
10	Электрохимическое осаждение	2	
11, 12	Саморегулирующиеся процессы	4	
3 Технологические особенности и техническая реализация методов литографии и микрообработки			
13	Фотолитография в ультрафиолетовом диапазоне длин волн	2	
14	Электронно-лучевая литография	2	
15	Рентгеновская литография	2	
16	Зондовая нанолитография	2	

17	Нанопечать	2	
18	Сравнение нанолитографических методов	2	
Итого часов:		36	

4.3 Лабораторные работы

Неделя семестра	Наименование лабораторной работы	Объем часов	Виды контроля
1 Технологические особенности и техническая реализация методов получения пленок полупроводников и диэлектрических материалов			Проверка отчета по лабораторной работе
2, 6	Исследование процесса эпитаксиального осаждения кремния в различных режимах протекания процесса	8	
10	Исследование процесса роста эпитаксиальных слоев из парогазовой фазы при использовании химических транспортных реакций	4	
2 Технологические особенности и техническая реализация методов получения металлических пленок			
14, 18	Исследование процесса осаждения металлических пленок из парогазовой фазы различных режимах протекания процесса и изменения состава пленок по толщине при вакуум-термическом напылении	6	
Итого часов:		18	

4.4 Самостоятельная работа студента (СРС)

Неделя семестра	Содержание СРС	Виды контроля	Объем часов
1—18	Проработка материала лекций с использованием рекомендуемой литературы	Опрос	18
1—18	Подготовка к практическим занятиям, выполнение заданий	Проверка выполнения заданий	36
2, 6, 10, 14, 18	Подготовка к лабораторным работам	Ответы на контрольные вопросы	8
Итого:			72

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В рамках изучения дисциплины предусмотрены следующие образовательные технологии:	
5.1	Лекции
5.2	Лабораторные работы
5.3	Практические занятия
5.4	Самостоятельная работа

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	Марголин В.И., Жабреев В.А., Лукьянов Г.Н., Тупик В.А.	Введение в нанотехнологию: СПб.: Лань, 2012. 464 с.	Учеб. для вузов, 2012	1
Л1.2	Киреев В.Ю., Столяров А.А.	Технологии микроэлектроники. Химическое осаждение из газовой фазы. М.: Техносфера, 2006. 192 с.	Учеб. пособ., 2006	0,33
7.1.2 Дополнительная литература				
Л2.1	Липатов Г.И.	Технология материалов и изделий электронной техники. Ч.2. ВГТУ, 2006. 172 с.	Учеб. пособие, 2006	1
Л2.2	Липатов Г.И.	Технология материалов и изделий электронной техники. Ч.3. Воронеж: ВГТУ, 2008. 227 с.	Учеб. пособие, 2008	1
7.1.3 Методические разработки				
ЛЗ.1	Липатов Г.И.	Методические указания к выполнению лабораторной работы «Исследование процесса эпитаксиального осаждения кремния» по курсу «Технология производства ИЭТ». Воронеж: ВГТУ, 2005. 44 с.	Метод. указ., 2005	1
ЛЗ.2	Липатов Г.И.	Методические указания к выполнению лабораторной работы «Расчет скорости осаждения пленок из парогазовой фазы в различных режимах протекания процесса и изменения состава пленок по толщине при вакуум-термическом напылении» по курсу «Технология материалов и изделий электронной техники». Воронеж: ВГТУ, 2005. 24 с.	Метод. указ., 2005	1
ЛЗ.3	Липатов Г.И.	Методические указания к выполнению лабораторных работ № 3, 4 по курсу «Технология материалов и изделий электронной техники». Воронеж: ГОУ ВПО «ВГТУ», 2010. 37 с.	Метод. указ., 2010	1
7.1.4 Программное обеспечение и Интернет-ресурсы				
1	Системы компьютерной математики MathCAD, MATLAB			
2	Интернет-ресурсы: http://www.nanoobr.ru — сайт ОАО «Роснано» http://perst.issp.ras.ru — информационный бюллетень «Перспективные технологии» http://www.nanonewsnet.ru — сайт аналитического агентства Nanotechnology News Network http://www.nanodigest.ru — интернет-журнал о нанотехнологиях http://www.nano-info.ru — сайт о современных достижениях в области микро- и нанотехнологий http://www.nanometer.ru — сайт нанотехнологического сообщества ученых http://www.nano-portal.ru — портал, посвященный теме развития нанотехнологий и их внедрения в производство			

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	Технологическое оборудование

9. СТРУКТУРА И СОСТАВ ФОНДОВ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

9.1. Перечень вопросов для рейтинговых и контрольных мероприятий

1. В чем суть метода химического осаждения слоев из газовой фазы?
2. В чем различие между процессами, идущими с диффузионным и кинетическим контролем?
3. Что такое гетерогенная химическая реакция? В каком технологическом процессе нанотехнологии ее наличие является необходимым условием его нормального течения?
4. Что характеризуют критерии Фурье, Био, Нуссельта и Шервуда, Пекле, Прандтля и Шмидта, Рейнольдса, Грасгоффа?
5. Что такое динамический пограничный слой и чем он обусловлен?
6. Что такое диффузионный пограничный слой и чем он обусловлен?
7. Какой из методов эпитаксии обеспечивает наиболее совершенную структуру растущей пленки?
8. В чем суть метода вакуум-термического нанесения тонких пленок?
9. В чем особенность и реализация метода магнетронного распыления?
10. Что такое фотолитография? Перечислите основные этапы создания рисунка на поверхности пластины с помощью фотолитографии.
11. Какие источники экстремального УФ применяют в фотолитографии?
12. Какие существуют основные методы улучшения разрешения проекционной фотолитографии?
13. В чем заключается электронно-лучевая литография и её основной недостаток для широкого промышленного применения?
14. Что такое нанопринт-литография? Приведите примеры различной реализации нанопринт-литографии.
15. Из каких этапов состоит процесс травления?
16. Поясните смысл характеристик травления «изотропность» и «селективность».
17. Что такое плазма? Приведите простейший пример реактора для травления с помощью плазмы.
18. Что такое емкостно-связанная плазма? Индуктивно-связанная плазма? ЭЦР-плазма?
19. Поясните механизм возникновения положительного потенциала плазмы.
20. От чего зависит величина напряжения самосмещения в плазме?
21. Чем отличается плазмохимическое и реактивно-ионное травление?
22. В чем суть метода электрохимического осаждения материалов?
23. Какими параметрами процесса электрохимического осаждения определяются свойства сформированных таким образом пленок?
24. Каковы особенности электрохимического осаждения полупроводниковых соединений?
25. Какие подходы используют для формирования наноструктур — нанонитей, нанотрубок и наноточек — электрохимическим осаждением материалов?
26. Каковы основные достоинства и недостатки метода электрохимического осаждения материалов?
27. В чем сущность метода электрохимического оксидирования (анодирования) материалов?
28. Как выглядит анодная поляризационная кривая и каким процессам соответствуют ее основные участки?
29. Какими параметрами процесса электрохимического оксидирования определяются

свойства сформированных таким образом оксидных пленок?

30. В каких режимах проводят анодное оксидирование и чем они отличаются?
31. Какова роль электролита в формировании анодных оксидных пленок?
32. В чем состоят основные достоинства и недостатки метода электрохимического оксидирования материалов?
33. Какое явление лежит в основе метода сканирующей туннельной микроскопии?
34. Каковы основные режимы работы сканирующего туннельного микроскопа?
35. Как можно распознать химическую природу атомов под зондом сканирующего туннельного микроскопа?
36. Какое явление лежит в основе метода атомной силовой микроскопии?
37. Как контролируют отклонение консоли с зондом от равновесного положения в атомном силовом микроскопе?
38. Какую напряженность электрического поля и плотность тока можно достичь в зазоре зонд-подложка?
39. Какие группы процессов используют для манипулирования атомами?
40. Как реализуется перенос атомов с использованием полевой диффузии, скольжения, контактного переноса, полевого испарения, электромиграции?
41. Какие основные достоинства и недостатки присущи методам атомной инженерии?
42. Какой механизм окисления металлов и полупроводников реализуется при использовании сканирующих зондов?
43. Каков типичный диапазон толщин оксидных слоев, формируемых зондовыми методами?
44. Каковы основные механизмы, обеспечивающие зондовое локальное химическое осаждение материалов из газовой фазы?
45. Каков типичный диапазон толщин слоев материалов, осаждаемых зондовыми методами?
46. Каковы типичные параметры электронного луча, используемого для электронно-лучевой литографии?
47. Какое разрешение обеспечивает электронно-лучевая литография?
48. Что принципиально ограничивает разрешающую способность электронно-лучевой литографии?
49. Пленки из каких материалов могут быть профилированы с использованием взрывной литографии?
50. Каковы основные достоинства и недостатки электронно-лучевой литографии?
51. Какие основные механизмы модификации резистов используют для нанолитографии сканирующими зондами?
52. Каковы типичные энергии электронов, используемых для зондовой электронно-лучевой литографии?
53. Как осуществляется перьевая нанолитография?
54. Каковы основные достоинства и недостатки зондовых нанолитографических методов?
55. Как осуществляется чернильная печать?
56. Какие материалы используют в качестве резистов для нанолитографии чернильной печатью?
57. Как осуществляется тиснение?
58. Какие материалы используют в качестве резистов для нанолитографии тиснением?
59. Как осуществляется нанопечать с фотополимеризацией мономера?
60. Какое разрешение обеспечивают методы нанопечати?
61. Каковы основные достоинства и недостатки нанопечати?
62. Какой разрешающей способностью характеризуются методы оптической литографии, электронно-лучевой литографии, зондовой нанолитографии, нанопечати, рентгеновской

литографии, ионно-лучевой литографии?

63. Охарактеризуйте по производительности возможности методов оптической литографии, электронно-лучевой литографии, зондовой нанолитографии, нанопечати, рентгеновской литографии, ионно-лучевой литографии?

64. Что такое самосборка и какой движущей силой она обусловлена?

65. Какие химические соединения используют в качестве прикрепляющей группы, промежуточной группы, поверхностной функциональной группы?

66. Какие свойства молекулярных пленок, сформированные самосборкой, делают их привлекательными для нанолитографии?

67. Что такое самоорганизация и какой движущей силой она обусловлена?

68. Как описывается изменение свободной энергии кристаллического зародыша, связанное с увеличением его объема и его поверхности?

69. Каковы основные факторы, влияющие на скорость образования кристаллических зародышей?

70. Как происходят золь-гель-превращения?

71. Какие методы и технологии подходят для формирования нанокристаллитов в объеме материалов?

72. Как происходит рост тонких пленок в режиме Франка—Ван дер Мерве? Волмера—Вебера? Странского—Крастанова?

73. При каких условиях реализуется режим Странского—Крастанова?

74. Каковы критические условия для перехода от двумерного роста сплошной пленки к трехмерному росту островков в режиме Странского—Крастанова?

75. Какие низкоразмерные структуры возможно формировать в режиме Странского—Крастанова?

76. Как описывается формирование островковых структур в режиме Волмера—Вебера?

77. Как наносят пленки Ленгмюра—Блоджетт?

9.2. Примерные варианты экзаменационных билетов

Билет № 1

1. Фотолитография как один из основных промышленных методов получения микро- и наноструктур.

2. Химическое осаждение слоев из газовой фазы (ХОГФ).

3. При загонке бора в кремний КЭФ-2 при температуре 1050 °С за время $t_1=20$ мин создана поверхностная концентрация $3 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Найти глубину залегания $p-n$ -перехода, образованного при последующей разгонке при 1200 °С в течение 1,5 ч.

Билет № 2

1. Жидкостное химическое травление. Этапы процесса травления. Изотропное и анизотропное травление.

2. Плазма. Методы получения плазмы для травления. Возникновения напряжения смещения электрода в плазме.

3. На кремниевой пластине термическим окислением получен слой SiO_2 толщиной 0,2 мкм. Какое дополнительное время потребуется, чтобы получить еще 0,1 мкм SiO_2 в сухом кислороде при 1200 °С?

Билет № 3

1. Требования к пленочным покрытиям и методы осаждения тонких пленок.

2. Методы улучшения разрешения фотолитографии: уменьшение длины волны излучения, иммерсионная литография, коррекция эффекта близости, фазосдвигающие маски, двойное экспонирование.

3. Осаждение диоксида кремния за счет разложения ТЭОС происходит при температуре 700 °С со скоростью 9 нм/мин. При добавлении в реакционную смесь фосфорсодержащих легирующих добавок энергия активации реакции разложения ТЭОС уменьшается с 1,9 эВ до 1,4 эВ. Какова при этом скорость роста ФСС?

Билет № 4

1. Технология и оборудование магнетронного осаждения.
2. Плазмохимическое и реактивно-ионное травление, техническая реализация и их отличия.
3. Построить распределение толщины осажденного слоя методом ХОГФ, если пластины диаметром 150 мм расположены на расстоянии 15 мм друг от друга, лимитирующей является гетерогенная стадия, имеет место реакция первого порядка, отношение коэффициента диффузии газа к константе скорости реакции 500.

Билет № 5

1. Механизм формирования химически активной плазмы.
2. Характеристики процессов плазмохимического травления.
3. Рассчитать эффективную концентрацию примеси в КДБ-10 на глубине 3 мкм при последовательной диффузии фосфора ($Q_{(P)}=10^{15} \text{ см}^{-2}$, $T=1100 \text{ °C}$, $t=3 \text{ ч}$) и бора ($Q_{(B)}=5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$, $T=1150 \text{ °C}$, $t=2 \text{ ч}$).

Билет № 6

1. Физико-химические основы процесса эпитаксии.
2. Принципы изотропного и анизотропного травления.
3. Пластины кремния марки КЭФ-5 легируют бором с дозой 10^{12} см^{-2} при энергии 100 кэВ. Затем проводят отжиг в течение 2 ч при 1000 °С. Чему равна пиковая концентрация бора после отжига?

Билет № 7

1. Особенности технологии и оборудования ПФХО диэлектрических слоев.
 2. Модель процессов ПФХО с лимитирующей гомогенной стадией.
- Кремниевая пластина окисляется несколько раз в процессе изготовления ИС. Найти результирующую толщину окисла после каждой из следующих операций, проводимых последовательно: а) 60 мин при 1100 °С в сухом O_2 и HCl (добавляется достаточное количество HCl , чтобы увеличить скорость окисления на 10 % по сравнению со скоростью окисления в чистом O_2); б) 2 ч при 1000 °С в пироженном водяном паре (при 1 атм).

Билет № 8

1. Модель процессов ХОГФ с лимитирующей гетерогенной стадией.
 2. Системы, используемые для плазменного травления.
- Рассчитать градиент концентрации примеси в $p-n$ -переходе, полученном на глубине 25 мкм путем диффузии фосфора в КДБ-0,4 до поверхностной концентрации $N_0=3 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ при 1250 °С.

Билет № 9

1. Свойства реагентов, используемых для ХОГФ диэлектрических слоев.
2. Особенности процесса испарения в вакууме. Распределение плотности испаряемого компонента по поверхности подложки.
3. Канал МОП-транзистора легируют бором до максимальной концентрации $8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ на глубине 0,1 мкм. Найти энергию ионов, дозу легирования и разброс ΔR_p .

Билет № 10

1. Технология и оборудования атомного слоевого осаждения.
2. Технология фотолитографии.
3. Выбрать энергию As^+ и дозу облучения для формирования в $n-Si$ с $N_{исх}=2\cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ сильнолегированного заглубленного слоя n^+ -типа так, чтобы на глубине 0,3 мкм концентрация имплантированной примеси равнялась $N_{макс}=2\cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Рассчитать результирующую поверхностную концентрацию примеси.

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель ученого совета ФРТЭ

_____ В.А. Небольсин

« ____ » _____ 20 ____ г.

**Лист регистрации изменений (дополнений) УМКД
«Технологические системы в нанотехнологии»**

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	Обеспеченность
1. Основная литература				
Л1.1	Марголин В.И., Жабреев В.А., Лукьянов Г.Н., Тупик В.А.	Введение в нанотехнологию: СПб.: Лань, 2012. 464 с.	Учеб. для вузов, 2012	1
Л1.2	Киреев В.Ю., Столяров А.А.	Технологии микроэлектроники. Химическое осаждение из газовой фазы. М.: Техносфера, 2006. 192 с.	Учеб. пособие, 2006	0,6
2. Дополнительная литература				
Л2.1	Липатов Г.И.	Технология материалов и изделий электронной техники. Ч.2. Воронеж: ВГТУ, 2006. 172 с.	Учеб. пособие, 2006	1
Л2.2	Липатов Г.И.	Технология материалов и изделий электронной техники. Ч.3. Воронеж: ВГТУ, 2008. 227 с.	Учеб. пособие, 2008	1
3. Методические разработки				
Л3.1	Липатов Г.И.	Методические указания к выполнению лабораторной работы «Исследование процесса эпитаксиального осаждения кремния» по курсу «Технология производства ИЭТ». Воронеж: ВГТУ, 2005. 44 с.	Метод. указ., 2005	1
Л3.2	Липатов Г.И.	Методические указания к выполнению лабораторной работы «Расчет скорости осаждения пленок из парогазовой фазы в различных режимах протекания процесса и изменения состава пленок по толщине при вакуум-термическом напылении» по курсу «Технология материалов и изделий электронной техники». Воронеж: ВГТУ, 2005. 24 с.	Метод. указ., 2005	1
Л3.3	Липатов Г.И.	Методические указания к выполнению лабораторных работ № 3, 4 по курсу «Технология материалов и изделий электронной техники». Воронеж: ГОУ ВПО «ВГТУ», 2010. 37 с.	Метод. указ., 2010	1

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