

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
КАФЕДРА ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Утверждено:
на заседании кафедры
протокол от «01» июня 2020 г. №8

Согласовано:
Председатель УМК физико-
технического института

Зав. кафедрой _____ / Салихов Р.Б.

_____ / Балапанов М.Х.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

дисциплина **ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ**
(наименование дисциплины)

_____ базовая дисциплина _____
(Цикл дисциплины и его часть (базовая, вариативная, дисциплина по выбору))

программа бакалавриата

Направление подготовки (специальность)

11.03.04 электроника и нанoeлектроника

(указывается код и наименование направления подготовки (специальности))

Направленность (профиль) подготовки

_____ Электронные приборы и устройства _____
(указывается наименование направленности (профиля) подготовки)

Квалификация

_____ Бакалавр _____
(указывается квалификация)

Разработчик (составитель)
профессор, д.ф.-м.н., профессор
(должность, ученая степень, ученое звание)


_____ / Салихов Р.Б.
(подпись/ Ф.И.О.)

Для приема: 2020г.
Уфа 2020г.

Составитель / составители: д.ф.-м.н., профессор Салихов Р.Б.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры инфокоммуникационных технологий и нанoeлектроники протокол от «01_» июня 2020 г. №8

Заведующий кафедрой


/ Салихов Р.Б./

Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы
2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)
4. Фонд оценочных средств по дисциплине
 - 4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания
 - 4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций
 - 4.3. *Рейтинг-план дисциплины (при необходимости)*
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
 - 5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины
 - 5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы (с ориентацией на карты компетенций)

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Категория (группа) компетенций	Формируемая компетенция (с указанием кода)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
	ПК-5. Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники	<p>ПК-5.1. Знать: общие принципы построения технологических процессов, технологических маршрутов и схем; физико-технологические основы процессов производства изделий электронной компонентной базы, особенности проведения отдельных технологических операций и обеспечения технологических режимов; технологические методы очистки полупроводников, основные способы получения монокристаллических материалов</p> <p>ПК-5.2. Уметь: оформлять технологическую документацию; разрабатывать элементы интегральных схем с требуемыми электрофизическими и конструктивными параметрами; грамотно организовать технологические процессы и маршруты производства активных и пассивных элементов электронной компонентной базы; производить расчет тонкопленочных элементов гибридных интегральных схем</p> <p>ПК-5.3. Владеть: навыками анализа процессов, лежащих в основе работы технологического оборудования; методами конструктивного расчета элементов толстопленочных и тонкопленочных гибридных интегральных схем; навыками практического использования измерительных приборов и комплексов для контроля за технологическими режимами и основными параметрами конечных изделий; навыками оценки соответствия разработанных технологических систем требованиям стандартов, технических условий и другим нормативным документам</p>

2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «*Основы технологии электронной компонентной базы*» относится к *вариативной* части.

Дисциплина изучается на 3 курсе(ах) в 5-6 семестре(ах).

Цели изучения дисциплины: является повышение уровня знаний в области полупроводниковых приборов и интегральной микроэлектронной и наноэлектронной техники

Данный курс предназначен для студентов направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника». Курс «Физика конденсированного состояния» позволяет на основе изучения свойств твердых тел, в особенности, полупроводниковых материалов разрабатывать новые электронные приборы и устройства.

Для усвоения дисциплины обучаемый должен обладать базовой математической и физической подготовкой в рамках университетского курса для студентов физиков и навыками владения современными вычислительными средствами. Обучаемый должен владеть основными понятиями физики. По предмету и методу своих исследований данный курс тесно связан с такими предметами как «Материалы электронной техники», «Физические основы электроники» и способствует формированию у будущих специалистов комплекс знаний, умений

и навыков в области микро- и нанотехнологических процессов (процессов планарно-эпитаксиальной технологии) создания в объеме или на поверхности твердого тела - подложки элементов и компонентов современной интегральной компонентной базы..

Дисциплина «Основы технологии электронной компонентной базы» призвана помочь студентам овладеть навыками и знаниями, необходимыми для выполнения научно-исследовательской работы, включая выполнение выпускной классифицированной работы, а так же изучению таких дисциплин как «Аналоговая и цифровая интегральная электроника», «Основы пленочной электроники».

3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

4. Фонд оценочных средств по дисциплине

4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код и формулировка компетенции:

ПК-5. Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники

Планируемые результаты обучения (Индикаторы достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
	2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Индикатор достижения компетенции (с кодом) ПК-5.1. Знать: общие принципы построения технологических процессов, технологических маршрутов и схем; физико-технологические основы процессов производства изделий электронной компонентной базы, особенности проведения отдельных технологических операций и обеспечения технологических режимов; технологические методы очистки полупроводников, основные способы получения монокристаллических материалов	Не знает общие принципы построения технологических процессов, технологических маршрутов и схем; физико-технологические основы процессов производства изделий электронной компонентной базы, особенности проведения отдельных технологических операций и обеспечения технологических режимов; технологические методы очистки полупроводников, основные способы получения монокристаллических материалов	Имеет фрагментарные знания о общих принципах построения технологических процессов, технологических маршрутов и схем; физико-технологические основы процессов производства изделий электронной компонентной базы, особенности проведения отдельных технологических операций и обеспечения технологических режимов; технологические методы очистки полупроводников, основные способы получения монокристаллических материалов	Достаточно уверенно знает общие принципы построения технологических процессов, технологических маршрутов и схем; физико-технологические основы процессов производства изделий электронной компонентной базы, особенности проведения отдельных технологических операций и обеспечения технологических режимов; технологические методы очистки полупроводников, основные способы получения монокристаллических материалов, но допускает не-	Уверенно знает общие принципы построения технологических процессов, технологических маршрутов и схем; физико-технологические основы процессов производства изделий электронной компонентной базы, особенности проведения отдельных технологических операций и обеспечения технологических режимов; технологические методы очистки полупроводников, основные способы получения монокристаллических материалов и может ответить на дополнительные

Зачет

Планируемые результаты обучения (Индикаторы достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения	
	«Не зачтено»	«Зачтено»
Индикатор достижения компетенции (с кодом) ПК-5.1. Знать: общие принципы построения технологических процессов, технологических маршрутов и схем; физико-технологические основы процессов производства изделий электронной компонентной базы, особенности проведения отдельных технологических операций и обеспечения технологических режимов; технологические методы очистки полупроводников, основные способы получения монокристаллических материалов	Отсутствие знаний или фрагментарные представления об основных понятиях и утверждениях, входящих в содержание дисциплины	Сформированные (возможно неполные) представления об основных понятиях и утверждениях, входящих в содержание дисциплины
ПК-5.2. Уметь: оформлять технологическую документацию; разрабатывать элементы интегральных схем с требуемыми электрофизическими и конструктивными параметрами; грамотно организовать технологические процессы и маршруты производства активных и пассивных элементов электронной компонентной базы; производить расчет тонкопленочных элементов гибридных интегральных схем	Отсутствие умений или фрагментарные умения употреблять правильную терминологию, определения, обозначения и единицы измерения величин для описания характеристик электроника и наноэлектроника и областей их применения, рассчитывать проводимость, подвижность носителей заряда, концентрацию носителей в электронных материалах	В целом успешное (возможно не систематическое) умение употреблять правильную терминологию, определения, обозначения и единицы измерения величин для описания характеристик электроника и наноэлектроника и областей их применения, рассчитывать проводимость, подвижность носителей заряда, концентрацию носителей в электронных материалах
ПК-5.3. Владеть: навыками анализа процессов, лежащих в основе работы технологического оборудования; методами конструктивного расчета элементов толстопленочных и тонкопленочных гибридных ин-	Отсутствие владения или фрагментарное владение экспериментальными навыками по изучению основных свойств материалов, в том числе методами электрофизических и металлографических измерений.	В целом успешное (возможно не систематическое) владение экспериментальными навыками по изучению основных свойств материалов, в том числе методами электрофизических и металлографических измерений.

тегральных схем ; навыками практического использования измерительных приборов и комплексов для контроля за технологическими режимами и основными параметрами конечных изделий; навыками оценки соответствия разработанных технологических систем требованиям стандартов, технических условий и другим нормативным документам		
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

Реферат

Планируемые результаты обучения (Индикаторы достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения	
	«Не зачтено»	«Зачтено»
Индикатор достижения компетенции (с кодом) ПК-5.1. Знать: общие принципы построения технологических процессов, технологических маршрутов и схем; физико-технологические основы процессов производства изделий электронной компонентной базы, особенности проведения отдельных технологических операций и обеспечения технологических режимов; технологические методы очистки полупроводников, основные способы получения монокристаллических материалов	Отсутствие знаний или фрагментарные представления о профессиональной лексике, не правильное оформление, полностью не соответствует требованиям, предъявляемым к содержанию и оформлению реферата	Уверенно знает профессиональную лексику, быть готовым к участию в дискуссии на профессиональные темы; правильность оформления, полностью соответствует требованиям, предъявляемым к содержанию и оформлению реферата
ПК-5.2. Уметь: оформлять технологическую документацию; разрабатывать элементы интегральных схем с требуемыми электрофизическими и конструктивными параметрами; грамотно организовать технологические процессы и маршруты производства активных и пассивных элементов электронной компонентной базы; производить расчет тонкопленочных элементов гибридных интегральных схем	Не уверенно проводит сбор и систематизацию теоретического материала, не правильное и не уверенное изложение собственных умозаключений и выводов	Уверенно проводит сбор и систематизацию теоретического материала, уверенно излагает собственные умозаключения и выводы, уверенно использует справочную и энциклопедическую литературу
ПК-5.3. Владеть: навыками анализа	Не владеет навыками работы с различными источниками	Владеет навыками работы с различными источниками ин-

процессов, лежащих в основе работы технологического оборудования; методами конструктивного расчета элементов толсто пленочных и тонко пленочных гибридных интегральных схем ; навыками практического использования измерительных приборов и комплексов для контроля за технологическими режимами и основными параметрами конечных изделий; навыками оценки соответствия разработанных технологических систем требованиям стандартов, технических условий и другим нормативным документам	информации; применения современных инструментальных средств для проведения теоретической и практической работы с последующим внедрением данных для написания реферата	формации; применения современных инструментальных средств для проведения теоретической и практической работы с последующим внедрением данных для написания реферата
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Критериями оценивания являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане дисциплины (для экзамена: текущий контроль – максимум 40 баллов; рубежный контроль – максимум 30 баллов, поощрительные баллы – максимум 10; для зачета: текущий контроль – максимум 50 баллов; рубежный контроль – максимум 50 баллов, поощрительные баллы – максимум 10).

Шкалы оценивания:

(для экзамена:

от 45 до 59 баллов – «удовлетворительно»;

от 60 до 79 баллов – «хорошо»;

от 80 баллов – «отлично».

для зачета:

зачтено – от 60 до 110 рейтинговых баллов (включая 10 поощрительных баллов), не зачтено – от 0 до 59 рейтинговых баллов).

4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Компетенция (с указанием кода)	Результаты обучения <i>Индикатор достижения компетенции (с кодом)</i>	Оценочные средства
УК-1- Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	ПК-5.1. Знать: общие принципы построения технологических процессов, технологических маршрутов и схем; физико-технологические основы процессов производства изделий электронной компонентной базы, особенности проведения отдельных технологических операций и обеспечения технологических режимов; технологические методы очистки полупроводников, основные способы получения монокристалличе-	Отчет к лабораторной работе; тесты; зачет, экзамен

	ских материалов	
	ПК-5.2. Уметь: оформлять технологическую документацию; разрабатывать элементы интегральных схем с требуемыми электрофизическими и конструктивными параметрами; грамотно организовать технологические процессы и маршруты производства активных и пассивных элементов электронной компонентной базы; производить расчет тонкопленочных элементов гибридных интегральных схем	
	ПК-5.3. Владеть: навыками анализа процессов, лежащих в основе работы технологического оборудования; методами конструктивного расчета элементов толстопленочных и тонкопленочных гибридных интегральных схем; навыками практического использования измерительных приборов и комплексов для контроля за технологическими режимами и основными параметрами конечных изделий; навыками оценки соответствия разработанных технологических систем требованиям стандартов, технических условий и другим нормативным документам	

**4.3. Рейтинг-план дисциплины
(при необходимости)**

Рейтинг-план дисциплины

Основы технологии электронной компонентной базы

(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

специальность _____ Электроника и нанoeлектроника
ка _____

курс _____ 3 _____, семестр _____ 5 _____

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
Модуль 1: Основные материалы изделий интегральной электроники.			0	65
Текущий контроль				
1. Тест	2	15	0	30
2. Выполнение и защита отчета по лабораторным работам	10	1	0	10
Рубежный контроль				
1. Коллоквиум	5	5	0	25

Модуль2: Эпитаксиальные структуры.			0	35
Текущий контроль				
1. Выполнение и защита отчета по лабораторным работам	10	1	0	10
Рубежный контроль				
2. Коллоквиум	5	5	0	25
Поощрительные баллы				
1. Участие в конференциях, публикация статей	10	1	0	10
Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)				
1. Посещение лекционных занятий			0	-6
2. Посещение практических (семинарских занятий)			0	-10
Итоговый контроль				
1. Зачет (дифференцированный зачет)				
2. Реферат				

Основы технологии электронной компонентной базы
(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

специальность _____ Электроника и наноэлектроника
курс _____ 3 _____, семестр __ 6 _____

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
Модуль 1: Процессы получения проводящих пленок.			0	45
Текущий контроль				
1. Тест	2	10	0	20
2. Выполнение и защита отчета по лабораторным работам	10	1	0	10
Рубежный контроль				
3. Коллоквиум	5	3	0	15
Модуль 2: Сборка полупроводниковых приборов.			0	25
Текущий контроль				
2 Выполнение и защита отчета по лабораторным	10	1	0	10

работам				
Рубежный контроль				
4. Коллоквиум	5	3	0	15
Поощрительные баллы				
1. Участие в конференциях, публикация статей	10	1	0	10
Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)				
3. Посещение лекционных занятий			0	-6
4. Посещение практических (семинарских занятий)			0	-10
Итоговый контроль				
1. Экзамен				30

Экзаменационные билеты

Примерные вопросы для экзамена:

1. Физико-технологические и экономические ограничения интеграции и миниатюризации электронной компонентной базы. Современное состояние.
2. Материалы электронной компонентной базы.
3. Классификация материалов. Классификация полупроводниковых материалов.
4. Основные процессы технологии электронной компонентной базы.
5. Химическая обработка и травление кремниевых пластин.

Образец экзаменационного билета:

Приведен в приложении 3.

Перевод оценки из 100-балльной в четырехбалльную производится следующим образом:

- отлично – от 80 до 110 баллов (включая 10 поощрительных баллов);
- хорошо – от 60 до 79 баллов;
- удовлетворительно – от 45 до 59 баллов;
- неудовлетворительно – менее 45 баллов.

для зачета:

- зачтено – от 60 до 110 рейтинговых баллов (включая 10 поощрительных баллов),
- не зачтено – от 0 до 59 рейтинговых баллов).

Критерии оценки (в баллах):

- **25-30 баллов** выставляется студенту, если студент дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Студент без затруднений ответил на все дополнительные вопросы. Практическая часть работы выполнена полностью без неточностей и ошибок;

- **17-24 баллов** выставляется студенту, если студент раскрыл в основном теоретические вопросы, однако допущены неточности в определении основных понятий. При ответе

на дополнительные вопросы допущены небольшие неточности. При выполнении практической части работы допущены несущественные ошибки;

- 10-16 баллов выставляется студенту, если при ответе на теоретические вопросы студентом допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос. Студент не решил задачу или при решении допущены грубые ошибки;

- 1-10 баллов выставляется студенту, если ответ на теоретические вопросы свидетельствует о непонимании и крайне неполном знании основных понятий и методов. Обнаруживается отсутствие навыков применения теоретических знаний при выполнении практических заданий. Студент не смог ответить ни на один дополнительный вопрос.

Комплект тестов (тестовых заданий)

по дисциплине «Основы технологии электронной компонентной базы»

1. Основной метод получения монокристаллических слитков кремния

- 1) Метод Гаусса
- 2) Метод Чохральского
- 3) Метод Крамера
- 4) Метод Хитча

2. Способ получения пленок отличающихся от подложки по составу называют

- 1) Гетероэпитаксия
- 2) Гомоэпитаксия
- 3) Биэпитаксия
- 4) Панэпитаксия

3. Добавление в состав материалов примесей для изменения (улучшения) физических и/или химических свойств основного материала.

- 1) Металлизация
- 2) Укрепление
- 3) Уплотнение
- 4) Легирование

Критерии оценки (в баллах)

За каждый правильный ответ - 2 балл

Коллоквиум

Список вопросов:

1. Физико-технологические и экономические ограничения интеграции и миниатюризации электронной компонентной базы. Современное состояние.
2. Материалы электронной компонентной базы.
3. Классификация материалов. Классификация полупроводниковых материалов.
4. Основные процессы технологии электронной компонентной базы.

Критерии оценки (в баллах)

Приведен полностью правильный ответ на вопрос, включающий исчер-

5 балла

пывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов

Дан правильный ответ на вопрос, но в рассуждении имеются один или несколько недостатков

3 балл

Нет правильного ответа

0 баллов

Перечень лабораторных работ

1. Силовая литография
2. Зондовая литография

Пример лабораторной работы. Силовая литография

Цель работы: ознакомление с видами литографии и освоение силовой литографии.

Приборы и оборудование: сканирующий зондовый микроскоп(СЗМ), компьютер.

Краткая теория.

Силовая литография.

СЗМ позволяет осуществлять непосредственное силовое воздействие зондом на поверхность образца. Это может производиться двумя путями – статическим воздействием (наногравировка) и динамическим воздействием (наночеканка).

Процесс гравировки хорошо известен как средство формирования рисунка на поверхности предмета. Реализация такого процесса с использованием методов сканирующей зондовой микроскопии позволяет осуществлять наногравировку (нанолиитографию) с нанометровым разрешением. При осуществлении наногравировки с использованием методики обычной контактной силовой микроскопии зонд микроскопа перемещается по поверхности подложки с достаточно большой силой прижима, так что на подложке (или на лежащем на ней слое резиста) формируется рисунок в виде углублений (царапин). Такая методика использует принцип вспашки: материал извлекается из подложки вполне определенным образом, оставляя канавки с характерным сечением, определяемым формой кончика зонда.

Такая технология нанолиитографии достаточно проста и дешева, однако у нее есть определенные недостатки. При формировании наноканавки статическим воздействием зонда случайные торсионные изгибы кантилевера приводят к краевым неоднородностям рисунка. Кроме того, предварительное и последующее после нанолиитографической операции сканирования приводят к сдвиговым искажениям рисунка.

С использованием динамической силовой литографии (наночеканки) модификация поверхности происходит за счет формирования углублений на поверхности образца колеблющимся зондом, при этом используется прерывисто-контактный метод сканирования. Такой метод нанолиитографии свободен от торсионных искажений и позволяет производить визуализацию сформированного рисунка без режущего воздействия на поверхность подложки или нанесенного слоя. Кратковременное «укалывание» поверхности также защищает зонд от быстрого разрушения.

Динамическая литография может производиться векторным или растровым способом.

При векторной литографии зонд движется по линиям заранее заданного векторного шаблона, ее преимущество заключается в относительно большой скорости. При движении зонда по объектам шаблона величина воздействия может быть постоянной или линейно изменяться в заданных пределах. Кроме того, при векторной литографии возможно импульсное воздействие с заданным шагом между импульсами.

Растровая литография осуществляется более медленно, поскольку при ее проведении зонд движется вдоль строк шаблона литографии, как при обычном сканировании. Степень

воздействия зонда на поверхность зависит от яркости точки шаблона. В качестве шаблона для растровой литографии используют графический файл в растровом формате.

В получении хороших результатов в растровой литографии с использованием наночечанки большую роль играет предварительная подготовка графического изображения-шаблона. Белому цвету на изображении соответствует отсутствие воздействия на образец, черному цвету – воздействие с максимальной силой. При подготовке изображения наиболее важные детали необходимо окрашивать в черный цвет таким образом, чтобы области черного цвета были достаточно большими и не чередовались с малыми белыми участками, а фон и ненужные детали, как правило, заливаются белым цветом. Также иногда бывает полезно повысить контрастность изображения.

В СЗМ НАНОЭДЬЮКАТОР II реализованы следующие виды литографии: простая векторная литография – когда сила воздействия при движении по линиям шаблона не изменяется; импульсная векторная литография; растровая литография с двумя возможными градациями цвета шаблона (черно-белое изображение).

В качестве шаблона растровой литографии может быть использован либо рисунок, прилагаемый в комплекте поставки прибора, либо подготовленный самостоятельно.

При самостоятельной подготовке шаблона, для получения хорошего изображения желательно, чтобы рисунок был черно-белым (две градации цвета), без тонких линий и мелких деталей. Рисунок должен быть сделан в растровом формате, число точек не рекомендуется делать слишком большим (не более 1024×1024).

Задание

1. Просканируйте поверхность образца и выберите участок для литографии. Подберите параметры литографии.
2. Выполните векторную литографию на выбранном ранее участке поверхности образца.
3. Выполните растровую силовую литографию на выбранном ранее участке поверхности образца.

Порядок выполнения лабораторной работы

В качестве шаблона растровой литографии может быть использован либо рисунок, прилагаемый в комплекте поставки прибора, либо подготовленный самостоятельно.

При самостоятельной подготовке шаблона, для получения хорошего изображения желательно, чтобы рисунок был черно-белым (две градации цвета), без тонких линий и мелких деталей. Рисунок должен быть сделан в растровом формате, число точек не рекомендуется делать слишком большим (не более 1024×1024).

Подготовка к работе

Предполагается, что студенты знакомы с порядком подготовки СЗМ НАНОЭДЬЮКАТОР к работе (см. ЛР №1). Здесь приводится только основная последовательность операций.

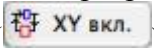
1. Включите виброизолирующую платформу (при наличии).
2. Включите компьютер.
3. Установите образец. Установите измерительную головку с зондовым датчиком на базовый блок.
4. Включите СЗМ контроллер. Запустите программу NanoEducator 2.
5. Переключите СЗМ НАНОЭДЬЮКАТОР II для работы по полуконтактным методам АСМ (кнопка АСМ на дополнительной панели Главного окна программы). Проверьте, что обратная связь по X, Y датчикам перемещения включена ().



Рис. 1. Прибор переключен для работы по полуконтактным методам атомно-силовой микроскопии

6. Откройте окно Резонанс кнопкой . Запустите процедуру автоматического поиска резонанса кнопкой Пуск. В результате амплитуда выходного сигнала генератора и коэффициент усиления цепи обратной связи будут подстроены таким образом, чтобы амплитуда колебаний зондового датчика на резонансной частоте была не менее 10 нА; частота выходного сигнала генератора будет установлена равной резонансной частоте зонда.

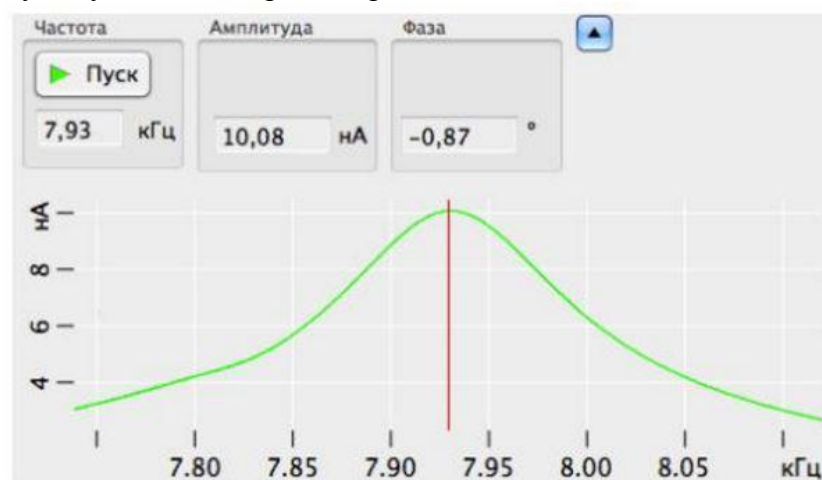


Рис. 2. Частота генератора установлена равной резонансной частоте зондового датчика; амплитуда колебаний зонда установлена равной 10 нА

7. Подведите образец к зонду:

- a. Откройте окно видеокамеры кнопкой .
- b. Откройте окно подвода кнопкой . Подведите образец к зонду до расстояния, при котором на изображении появится отражение зонда. Для этого, наблюдая за зондом по изображению с видеокамеры, нажмите кнопку . Остановите подвод повторным нажатием кнопки .
- c. Замкните цепь обратной связи ().
- d. Задайте начальные значения параметров: Раб.Точка – 8; Усиление – 1.
- e. Откройте окно осциллографа. Выберите сигнал Mag из списка Сигналы. Запустите осциллограф кнопкой .
- f. Запустите процедуру подвода кнопкой .
- g. Если после окончания подвода возникла генерация (амплитуда колебаний Mag больше, чем ~5 % от начального сигнала Mag), уменьшите Усиление до 0.5 ± 0.7

от значения при котором генерация исчезает.

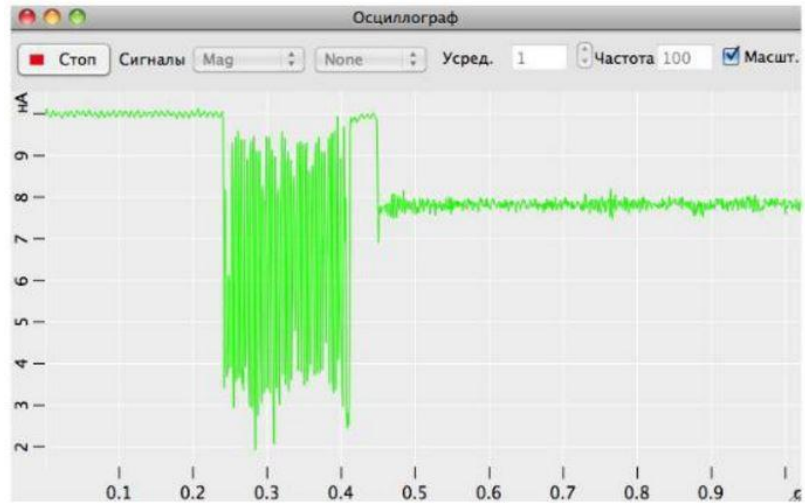



Рис. 3. Окончание процесса подвода. Генерация отсутствует

Предварительное сканирование

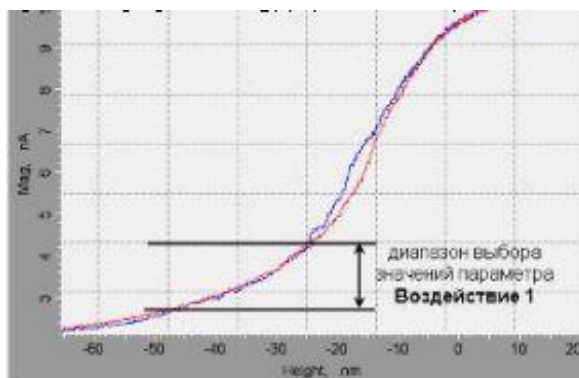
1. Откройте окно операций. Перейдите на вкладку сканирования. В списке метод выберите метод *Torography*.
2. Задайте параметры сканирования.
3. Выберите область сканирования (кнопка ). Проверьте, что в пределах выбранной области сканирования зонд всюду достаёт до поверхности и нигде не «врезается» в нее.
4. Запустите сканирование. Дождитесь окончания сканирования.

Подбор параметров литографии

1. Перейдите на вкладку спектроскопии.
2. Из списка *Mode* выберите метод *Mag(Z)*.
3. Задайте диапазон изменения удлинения *Z*-трубки сканера.
4. Выбрали точку проведения измерений рядом с участком, на котором предполагается проводить литографию.



Образец до литографии



Выбор значения параметра Воздействие

5. Запустите измерения.

6. По полученной кривой определили значение силы воздействия зонда в точках, соответствующих черным точкам шаблона – параметр Воздействие. Значение силы воздействия следует выбирать в пределах нижнего перегиба графика $Mag(z)$.

Векторная силовая литография

1. Выберите векторный способ литографии, нажав кнопку Вектор.
2. На выбранном участке изображения поверхности задайте положение и размер объектов шаблона литографии с помощью инструментов Панели инструментов шаблона литографии.
3. На дополнительной панели задайте параметры литографии.
4. В поле Воздействие на панели управления задайте силу, с которой зонд будет воздействовать на поверхность образца при движении по линиям шаблона. Значение силы воздействия выбирается по результатам спектроскопии $Mag(z)$.
5. Запустили процесс литографии.
6. После окончания литографии просканировали участок поверхности образца, на котором была выполнена литография.



Образец после литографии

Контрольные вопросы

1. Что такое сканирующая зондовая литография? Расскажите об основных ее видах.
2. Назовите критерии выбора образцов для проведения динамической силовой лито-

графии.

Критерии оценки (в баллах)

Приведен полностью правильно оформленный отчет, включающий правильные ответы на контрольные вопросы, правильно решенные задания и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов	10 баллов
Дан правильно оформленный отчет, включающий правильные ответы на контрольные вопросы, но в решении заданий имеются один или несколько недостатков	5 баллов
Нет правильно оформленного отчета	0 баллов

Участие в конференциях, публикация статей

1. Публикация статей – 5 баллов

Критерии	Оценка (в баллах)	
Тип работы	Реферативная работа	0
	Работа носит исследовательский характер	1
Использование известных данных и научных фактов	Не использует никаких данных	0
	Использованы научные данные	1
Полнота цитируемой литературы, ссылка на ученых	Использован учебный материал	0
	Использованы специализированные издания или интернет ресурсы	1
Актуальность работы	Изучение вопроса не является актуальным	0
	Представленная работа привлекает интерес своей актуальностью	1
Степень новизны полученных результатов	Работа не содержит ничего нового	0
	В работе доказан уже установленный факт или получены новые данные	1

2. Участие в конференции- 5 баллов

Творческий подход к отбору и структурированию материала	-	1 балл
Новизна и самостоятельность при постановке проблемы	-	1 балл
Выступление не является простым чтением с экрана	-	1 балл
В выступлении дополняются и раскрываются ключевые моменты, представленные на слайдах	-	1 балл
Во время выступления поддерживается зрительный контакт с аудиторией, речь отличается богатством интонаций	-	1 балл

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература:

1. Салихов, Р.Б. Основы технологии электронной компонентной базы [Электронный ресурс] : практикум / Р.Б. Салихов .— Уфа : РИЦ БашГУ, 2018 .— Электрон. версия печ. публикации .— Доступ возможен через Электронную библиотеку БашГУ.— . <URL:https://elib.bashedu.ru/dl/corp/Salihov_Osnovy_tehnologii_elektr_komponent_bazy_pr_2018.pdf>.

2. Астахов, В.П. Основы технологии электронной компонентной базы : практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.П. Астахов, С.А. Леготин, К.А. Кузьмина. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС, 2016. — 53 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/93644>.

Дополнительная литература:

3. Рабинович, О.И. Основы технологии электронной компонентной базы. Методы контроля характеристик материалов в технологических процессах получения тонкопленочных материалов [Электронный ресурс] : учебное пособие / О.И. Рабинович, Д.Г. Крутогин. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС, 2013. — 42 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/47468>.

5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины

Ресурсы Интернет

1. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>
1. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
2. Теоретические сведения по физике и подробные решения демонстрационных вариантов тестовых заданий, представленных на сайте Росаккредагентства (www.fepo.ru).
3. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
4. www.affp.mics.msu.su

6	Электронно-библиотечная система «ЭБ БашГУ»	Собственная электронная библиотека учебных и научных электронных изданий, которая включает издания преподавателей БашГУ	Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет	Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет	https://elib.bashedu.ru/
7	Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»	Полнотекстовая БД учебных и научных электронных изданий	Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет	Регистрация из сети БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет	http://www.biblioclub.ru/
8	Электронно-библиотечная система издатель-	Полнотекстовая БД учебных и научных электронных изда-	Авторизованный доступ по паролю из любой	Регистрация из сети БашГУ,	http://e.lanbook.com/

ства «Лань»	ний	точки сети Интернет	дальнейший доступ из любой точки сети Интернет	
-------------	-----	---------------------	------------------------------------------------	--

6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для проведения лекционных занятий используется аудиторный фонд физико-технического института.

Наименование дисциплины (модуля), практик в соответствии с учебным планом	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Основы технологии электронной компонентной базы	<p>1. учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа: аудитория 415 (физико-технического корпус учебное)</p> <p>2. учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа: лаборатория материалов электронной техники 408 (физикотехнический корпус учебное).</p> <p>3. учебная аудитория для консультирования и промежуточной аттестации: аудитория 415 (физико-математический корпус учебное)</p> <p>4. помещения для самостоятельной работы Читальный зал №2 (корпус физмата, 2 этаж): Зал доступа к электронной информации Библиотеки</p> <p>5. Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования: лаборатория по техническому обеспечению учебного процесса, к.605 г</p>	<p style="text-align: center;">Аудитория 415</p> <p>Доска, учебная мебель, проектор</p> <p style="text-align: center;">Лаборатория материалов электронной техники 408</p> <p>Учебная мебель, доска аудиторная, генератор сигналов ГЗ-102, генератор GFG-8215A, измеритель добротности E4-11, монитор 17 «Samsung 783 DF», монитор 17 «Samsung 783 DF», монитор 15 «LG 1530S Flatron», монитор 17 «Samsung 793 MB», монитор 15 «LG 575e, TCO»99, мост точный BM-401E, нановольтамперметр P 341, нановольтамперметр P 341, насос ротационный PB-5/2A, осциллограф C1-68, осциллограф C1-83, осциллограф C1-83, осциллограф C1-112A, осциллограф GOS620, потенциометр КСП-4, потенциометр P 363-3, потенциометр P 363-3, принтер SAMSUNG ML1615 лазерный, системный блок компьютера Intel Celeron, системный блок компьютера Intel Celeron, системный блок компьютера Celeron-D 326, станок сверлильный 2М 112, сушилка лабораторная вакуумная СПТ-200, шкаф сушильный SPT-200</p> <p style="text-align: center;">Читальный зал</p> <p>Научный и учебный фонд, научная периодика, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 50, ПК (моноблок) – 8 шт., подключенных к сети Интернет, неограниченный доступ к электронным БД и ЭБС; количество</p>	<p>1. Windows 8 Russian; Windows Professional 8 Russian Upgrade. Договор №104 от 17.06.2013 г. Лицензия- OLP NL Academic Edition. Бессрочная.</p> <p>2. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Договор №114 от 12.11.2014 г.. Лицензия-OLP NL Academic Edition. Бессрочная.</p>

		посадочных мест – 8 Лаборатория 605 г Станок токарный ТВ-16; Станок сверлильный НС-Ш; Осциллограф С1-67; Паяльная аппаратура; Весы аналитические Labof; Весы лабораторные; Шкаф с набором вспомогательного материала (резисторов, конденсаторов, предохранителей и т.д) Набор инструментов для ремонта оборудования	
--	--	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
КАФЕДРА ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

дисциплины Основы технологии электронной компонентной базы на 5-6 семестрах
(наименование дисциплины)

очная

форма обучения

Вид работы	Объем дисциплины		
	5 се- местр	6 се- местр	общее
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	5/180		
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	36,7	33,2	69,9
лекций	18	16	34
практических/ семинарских	-		
лабораторных	18	16	34
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР)	0,7	1,2	1,9
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	35,3	<u>40</u>	<u>75,3</u>
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)	<u>0</u>	34,8	34,8

Форма(ы) контроля:
 экзамен_6 семестр
 зачет 5 семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Модуль 1: Основы технологии интегральных схем	9	-	9	17			
1.	Выращивание кристаллов для интегральной электроники. Формирование кремниевых пластин для электроники	3	-	3	6	[1] §1.1 -§1.3	подготовка к лаб. работе	проверка отчётов лаб.работ,
2.	Основные сведения о молекулярно-лучевой эпитаксии. Молекулярно-лучевая эпитаксия кремния.	3	-	3	6	[1] §3.1 – 3.3	подготовка к лаб. работе	проверка отчётов лаб.работ, тест
3.	Литографические процессы. Травление. Техника масок.	3	-	3	5	[1] § 1.5 - 1.6	подготовка к лаб. работе	Отчет к лаб.раб
	Модуль2: Эпитаксиальные планарные структуры	9	-	9	18			
4.	Метод диффузии в производстве полупроводниковых при-	3	-	3	6	[1] §1.4	составление отчета	проверка отчётов лаб.работ,

	боров. Метод ионной имплантации примеси в полупроводниковую пластину							
5.	Изобретение планарной технологии. Структура и топология ИС в КМОП технологии. Технологическая схема кремниевой планарной технологии	3	-	3	6	[1] § 2.1 - 2.3	составление отчета	проверка отчетов лаб. работ,
6.	Основные технологические циклы при формировании слоев. Химико– механическая планаризация (CMP). Завершающие операции при производстве ИС	3	-	3	6	[1] § 2.4 - 2.5	подготовка к тесту	Отчет к лаб. раб, тест, коллоквиум
	Всего часов:	18	-	18	35			

6 семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)	Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов Всего	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.) ЛК
-------	-------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------

		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СРС			
1	2	4	5	6	1	2	3	4
	Модуль 1: Методы анализа поверхности	8	-	8	20			
1	Чистота поверхности и способы ее достижения. Методы анализа поверхности при зондировании электронами. Дифракция электронов.	4	-	4	10	[1] § 5.1 - 5.3	подготовка к лаб. работе	проверка отчетов лаб.работ, тест
2	Электронная микроскопия. Принцип работы. Режимы работы. Разновидности РЭМ.	4	-	4	10	[1] §9.1-9.4	составление отчета	Отчет к лаб.раб ; коллоквиум
	Модуль 2: Химический анализ поверхности	8	-	8	20			
5	Электронная Оже-спектроскопия. Эффект Оже. Регистрация ожеэлектронов. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.	4	-	4	10	[1] §6.1- 6.3, §7.1-7.4	подготовка к лаб. работе и составление отчета	проверка отчетов лаб.работ,
6	Масс-спектрометрия вторичных ионов. Вторично-ионные	4	-	4	10	[1] §8.1- 8.4	подготовка к коллоквиум	Отчет к лаб.раб, коллоквиум

	масс спектрометры. Проведение количественного анализа.							
	Всего часов:	16	-	16	40			

Форма экзаменационного билета

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»


ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
КАФЕДРА ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

по дисциплине Основы технологии электронной компонентной базы
Направление 11.03.04 электроника и нанoeлектроника
Профиль Электронные приборы и устройства

1. Эпитаксия. Термическое окисление.
2. Электронная оже-спектроскопия. Эффект Оже.

Заведующий кафедрой



/ Салихов Р.Б./