

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Беспалов Владимир Александрович
Должность: Ректор МИЭТ
Дата подписания: 01.09.2023 15:29:42
Уникальный программный ключ:
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f756d76c8f8bea882b8d602

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
И.Г. Игнатова
«14» сентября 2020г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Технологические процессы нанoeлектроники. Специальные разделы»

Направление подготовки - 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Направленность (профиль) – «Проектирование и технология устройств интегральной нанoeлектроники»

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

Компетенция ПК-6 «Способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов»

сформулирована на основе профессионального стандарта 40.040 «Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков»

Обобщенная трудовая функция D «Разработка электрических схем, характеристика сложнофункциональных блоков (СФ-блоков)».

Трудовая функция D/01.7 «Разработка электрической принципиальной схемы СФ-блока»

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
<p>ПК-6.ТПНЭСР. Способен исследовать технологические процессы создания элементов интегральной нанoeлектроники</p>	<p>научно-исследовательская деятельность: разработка методики и проведение исследований и измерений параметров и характеристик изделий электронной техники, анализ их результатов</p>	<p>Знания: физико-химические механизмы, лежащие в основе базовых технологических операций создания твердотельных приборов и устройств нанoeлектроники с топологическими нормами 90 нм и ниже; основы современных методов и технологий создания и исследования наноструктур интегральной электроники. Умения: выбирать и использовать технологические процессы для создания интегральных наноструктур; применять современные экспериментальные методы анализа физических и химических свойств наноструктур и наноматериалов; исследования параметров и характеристик формируемых приборов и устройств. Опыт деятельности: исследование технологических процессов создания полупроводниковых приборов</p>

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы (является элективной).

Входные требования к дисциплине:

- знание основ технологии изготовления электронной компонентной базы, технологических операций создания кремниевых ИС;
- знание основных технологических маршрутов создания кремниевой электронной компонентной базы.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы)	Практические занятия (часы)		
2	3	3	108	-	16	16	76	ЗаО

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции	Практические занятия	Практическая подготовка при проведении лабораторных работ (часы)	Самостоятельная работа (часы)		
1. Процессы плазменного травления функциональных слоев УБИС.	-	10	12	12	Выполнение и защита лабораторных работ	
				10	Опрос на практических занятиях	
				10	Контрольная работа № 1	

2. Методы получения тонких пленок	-	6	4	4	Выполнение и защита лабораторной работы
				6	Опрос на практических занятиях
				10	Контрольная работа № 2
				20	Сдача практического задания
				4	Защита реферата

4.1. Лекционные занятия

Не предусмотрены.

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Современное состояние микро- и нанoeлектроники. Тенденции в развитии КМОП-технологии. Закон Мура. Цели масштабирования КМОП-транзисторов. Диэлектрики с низкой и высокой диэлектрической проницаемостью. Особенности «Damascene» технологии формирования системы медной металлизации.
	2	2	Роль плазменных процессов в производстве изделий микро- и нанoeлектроники. Применение плазменных процессов в производстве УБИС и НЭМС. Тенденции развития плазменных технологий. Современные плазменные системы, используемые в производстве изделий нанoeлектроники. Кластерное оборудование.
	3	2	Плазменное травление в производстве изделий нанoeлектроники. Проблемы, возникающие при плазменном травлении. Механизм «задержки РИТ». Эффект микрозагрузки. Эффект зарядки поверхности. Механизмы обеспечения анизотропного профиля травления.
	4	2	Процессы плазменного травления функциональных слоев микро- и нанoeлектроники. Особенности травления диэлектрических слоев трехмерных наноструктур. Особенности процессов плазменного формирования разводки. Плазменное травление антиотражающих покрытий при формировании фоторезистивной маски. Формирование контактных окон при изготовлении современных ИС. Создание мелкощелевой изоляции.
	5	2	Методология разработки процессов плазменного травления при формировании элементов нанoeлектроники. Выбор аппаратной базы. Анализ воздействия плазмы на обрабатываемые структуры. Принципы выбора рабочих газов.

2	6	2	Методы получения тонких пленок. Метод магнетронного распыления. Современные системы ФОГФ и их особенности. Механизм реализации процесса i-PVD.
	7	2	Классификация процессов ХОГФ функциональных слоев ИМС. Классификация оборудования ХОГФ. Классификация диэлектрических материалов, используемых в производстве УБИС с топологическими нормами 90 нм и менее. Dep - Etch - Dep процессы.
	8	2	Процессы ХОГФ с дискретной подачей реагентов. Атомно-слоевое осаждение пленок диэлектриков с высокой диэлектрической постоянной. Процессы атомно-слоевого осаждения пленок тантала и его нитридов.

4.3. Практическая подготовка при проведении лабораторных работ

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
2	1	4	Формирование наноразмерных поликремниевых затворов методом реактивного ионного травления
	2	4	Изучение процесса формирования топологического рисунка в функциональном слое методом реактивного ионного травления
	3	4	Метод оптической актинометрии в применении к химически активной низкотемпературной плазме
3	4	4	Изучение процесса быстрого термического окисления кремния

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	10	Подготовка к опросам
	10	Подготовка к контрольной работе №1
	12	Подготовка к лабораторным работам
2	4	Подготовка к лабораторной работе
	20	Выполнение практического задания
	6	Подготовка к опросам
	10	Подготовка к контрольной работе №2
	4	Подготовка реферата

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены.

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>):

Методические указания студентам по изучению дисциплины «Технологические процессы наноэлектроники. Специальные разделы».

Модуль 1 «Процессы плазменного травления функциональных слоев УБИС»

✓ Материалы для подготовки к опросам и контрольным работам: А.А. Голишников, М.Г. Путря. «Плазменные технологии в наноэлектронике». М.: МИЭТ, 2011. – 130с. Материалы для подготовки к лабораторным работам: задание к лабораторным занятиям по модулю 1 (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)

Модуль 2 «Методы получения тонких пленок»

✓ Материалы для подготовки к опросам и контрольной работе: А.А. Голишников, М.Г. Путря. «Плазменные технологии в наноэлектронике». М.: МИЭТ, 2011. – 130с. Материалы для подготовки к лабораторной работам: задание к лабораторному занятию по модулю 1 (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>)

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Голишников А.А. Лабораторный практикум по дисциплине "Плазменные технологии в наноэлектронике" / А.А. Голишников, М.Г. Путря; М-во образования и науки РФ, МГИЭТ(ТУ). - М. : МИЭТ, 2011. - 100 с.
2. Королев М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем : Учеб. пособие: В 2-х ч. Ч. 2 : Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования / М.А. Королев, [и др.]; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Бинум. Лаборатория знаний, 2009. - 422 с.
3. Нанотехнологии в электронике. Вып. 3 / Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Техносфера, 2015. - 480 с.
4. Голишников А.А. Учебное пособие по дисциплине "Плазменные технологии в наноэлектронике" / А.А. Голишников, М.Г. Путря; М-во образования и науки РФ, МГИЭТ(ТУ). - М. : МИЭТ, 2011. - 172 с.
5. Королев М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем : Учеб. пособие: В 2-х ч. Ч. 1 : Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / М.А. Королев, Т.Ю. Крупкина, М.А. Ревелева; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : Бинум. Лаборатория знаний, 2007. - 397 с.
6. Металлизация ультрабольших интегральных схем : Учеб. пособие / Д.Г. Громов, А.И. Мочалов, А.Д. Сулимин, В.И. Шевяков; Под ред. Ю.А. Чаплыгина. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 277 с.

Периодические издания

1. RUSSIAN MICROELECTRONICS. - : Springer, [2000] - . - URL: <http://link.springer.com/journal/11180> (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
2. Известия вузов. Электроника : Научно-технический журнал / М-во образования и науки РФ; МИЭТ; Гл. ред. Ю.А. Чаплыгин. - М. : МИЭТ, 1996 - .

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. Лань: электронно-библиотечная система. – Санкт-Петербург, 2011. – URL: <https://e.lanbook.com/> (дата обращения: 30.09.2019). – Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.
2. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека: сайт. – Москва, 2000. – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 09.02.2020). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
3. SCOPUS: Библиографическая и реферативная база данных научной периодики: сайт. www.scopus.com/ (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для авторизированных пользователей МИЭТ.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации обучения используется смешанное обучение, сочетающее традиционные формы аудиторных занятий и взаимодействие в электронной образовательной среде. В обучении используются внутренние электронные ресурсы (текстовые материалы практических и лабораторных занятий) электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС <http://orioks.miet.ru>, основным назначением которых является оказание помощи студентам при самостоятельной работе, а также в самостоятельном освоении отдельных тем дисциплины при пропуске занятий. Они могут также использоваться для более углубленного изучения дисциплины и при подготовке к сдаче промежуточной аттестации, при назначении индивидуальных учебных планов студенту.

При проведении практических занятий студенты получают навыки решать стандартные профессиональные задачи с применением знаний об основных технологических процессах изготовления ИС, и методов расчета характеристик технологических процессов для создания элементов электронных приборов.

Важную роль в процессе обучения играют лабораторные занятия, предназначенные не только для закрепления знаний, полученных на практических занятиях, и при выполнении самостоятельной работы, но и для получения навыков исследовательской и практической работы на лабораторном оборудовании. Лабораторные работы, как правило, проводятся в интерактивном режиме при работе в малых группах и диалоге с преподавателем с разбором конкретных ситуаций в процессе выполнения экспериментальных исследований и при защите полученных результатов.

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: электронная почта преподавателя, WhatsApp и др.

Дисциплина может быть реализована в дистанционном формате. При дистанционном обучении проводятся *online* практические и лабораторные занятия в Zoom. Вся информация доступна для студентов через среду ОРИОКС.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Помещение «Технологический лабораторный практикум»	«Технологический лабораторный практикум» оснащен технологическим оборудованием 7. 1. Лазерный эллипсомер SD2100. 2 Установка лабораторного типа для быстрого отжига RTP-1200-100 3 Установка магнетронного напыления различных функциональных слоев СБИС и МЭМС SSP 3000 SUGA. 4. Малогабаритная вакуумная установка настольного типа МВУ ТМ Плазма-РИТ реактивного ионного травления.	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus
Помещение для самостоятельной работы	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

1. ФОС по компетенции/подкомпетенции ПК-6.ТПНЭСР «Способен исследовать технологические процессы создания элементов интегральной наноэлектроники».

Фонды оценочных средств представлены отдельными документами и размещены в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

11.1. Особенности организации процесса обучения

В процессе изучения курса предполагается самостоятельная работа студента при подготовке к практическим и лабораторным занятиям, к опросам на практических занятиях, контрольным работам и комплексному заданию.

По завершению изучения дисциплины предусмотрена промежуточная аттестация в виде зачета с оценкой, при этом оценка учебной деятельности студента основана на бальной системе.

Подготовка к практическим и лабораторным занятиям

Практические и лабораторные работы проводятся под руководством преподавателя. Чтобы хорошо подготовиться к учебным занятиям и лабораторной работе, студенту необходимо: уяснить вопросы и задания, рекомендуемые для подготовки к практическому и лабораторному занятиям, прочитать соответствующие главы учебника (учебного пособия), прочитать дополнительную литературу, рекомендованную преподавателем, сформулировать и записать развернутые ответы на вопросы для подготовки к лабораторному и практическому занятиям.

Особенностью изучения дисциплины «Технологические процессы нанозлектроники. Специальные разделы» является последовательность изучения и усвоения учебного материала. Нельзя переходить к изучению нового, не усвоив предыдущего, так как понимание и знание последующего в курсе базируется на глубоком знании предыдущих тем. Особое внимание должно быть обращено на усвоение содержания категорий дисциплины. Студентам целесообразно завести специальный словарь для записи содержания основных понятий.

Важной формой обучения, а также этапом подготовки к практическим и лабораторным занятиям является самопроверка знаний. В ходе самопроверки студент должен ответить на вопросы, рекомендованные для подготовки к учебным занятиям, а также составить план-конспект развернутых ответов. Это поможет глубже усвоить пройденный материал и прочно закрепить его в памяти. Вопросы, указанные в плане практического занятия, являются наиболее существенными. Если при самопроверке окажется, что ответы на некоторые вопросы неясны, то надо вновь обратиться к первоисточникам, учебнику (учебному пособию) и восполнить пробел.

На практическом занятии студентам очень важно внимательно слушать выступающих товарищей, записывать новые мысли и факты, замечать неточности или неясные положения в выступлениях, активно стремиться к развертыванию дискуссии, к обмену мнениями.

Одной из форм обучения, подготовки к практическому и лабораторному занятиям является *консультация у преподавателя*. Обращаться к помощи преподавателя следует в любом случае, когда студенту не ясно изложение какого-либо вопроса в учебной литературе или он не может найти необходимую литературу, а также при возникновении трудностей в подготовке отчета по лабораторным работам.

Во время самостоятельной работы студенты готовятся к лабораторным работам, к опросам на практических занятиях, к контрольным работам №1 и 2, а также выполняют практическое задание на планирование экспериментального исследования одного из

технологических процессов изготовления элемента интегральной микро- и наноэлектроники.

Промежуточная аттестация осуществляется в виде зачета с оценкой.

11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется балльная накопительная система.

Баллами оцениваются: выполнение и защита лабораторных работ, выполнение двух контрольных работ, написание реферата, представление доклада, активность в семестре (опросы) и выполнение практического задания. По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий доступны в ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>.

Разработчик:

Доцент, к.т.н.



/ А.А. Голишников /

Рабочая программа дисциплины «Технологические процессы нанoeлектроники. Специальные разделы» по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника», направленности (профилю) «Проектирование и технология устройств интегральной нанoeлектроники» разработана на кафедре ИЭМС и утверждена на заседании кафедры 26.11 2020 года, протокол № 5

Заведующий кафедрой ИЭМС  / Ю.А. Чаплыгин /

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК  / И.М. Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки  / Т.П. Филиппова /