

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Беспалов Владимир Александрович
Должность: Ректор МИЭТ
Дата подписания: 01.09.2023 15:22:15
Уникальный программный ключ:
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736d76c8f8bea882b8d602

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
«26» сентября 2020 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Методы и средства исследования и оптимизации термических процессов и оборудования»

Направление подготовки - 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств»

Направленность (профиль) – «Проектирование технических систем средствами 3D-моделирования»

Москва 2020

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

Компетенция ПК-3.МСИО ТПО «Способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения» Сформулирована на основе Профессионального стандарта 25.036 «Специалист по электронике бортовых комплексов управления»

Обобщенная трудовая функция Д. Организация выполнения работ по созданию и эксплуатации электронных средств и электронных систем БКУ.

Трудовая функция D/01.7 Организация исследований и разработка планов создания электронных средств и электронных систем БКУ.

Подкомпетенции формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения компетенций/подкомпетенций
ПК-3.МСИО ТПО Способен делать научно-обоснованные выводы и рекомендации по результатам проведенных исследований термических процессов и оборудования, подготавливать отчеты, доклады и научные публикации.	-Разработка рабочих планов и программ проведения научных исследований и технических разработок; - Разработка методики и проведение исследований и измерений параметров и характеристик электронных средств и технологических процессов, анализ их результатов.	Знания методов синтеза и исследований физических и математических моделей термических процессов и оборудования Умения оформлять и представлять результаты исследования термических процессов и оборудования на основе расчетов и моделирования Опыт деятельности по владению навыками анализа результатов исследований, разработки рекомендаций, подготовки отчетов, докладов и научных публикаций

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в обязательную часть Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы (является дисциплиной по выбору).

Входные требования к дисциплине:

знание основ физико-термических процессов (выращивания монокристаллов п/п-ов, термической диффузии, эпитаксии, окисления, осаждения из газовой фазы) и требований к техническим системам, устройствам и оборудованию для реализации высокотемпературных

технологий производства приборов микроэлектроники и микросистемной техники, а также знание основ: технической термодинамики; химической и диффузионной кинетики; процессов теплообмена;

умение применять знания разделов высшей математики (в частности, дифференциальное и интегральное исчисление, методы вычислительной математики и решения задач оптимизации) и физики для описания физических закономерностей лежащих в основе функционирования исследуемых устройств и технологических процессов, а также умение пользоваться средствами исследования процессов и устройств;

владение стандартными компьютерными программами моделирования, входящими в состав современных САПР, а также компетенциями в области основ программирования.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
2	3	5	180	16	-	32	96	ЭКЗ (36)

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Практические занятия (часы)	Лабораторные занятия (часы)		
1. Место и назначение базовых термических процессов в технологии МЭ. Ростовые процессы и оборудование. Процессы и оборудование для получения окисных слоев и диффузионного легирования	6	8	-	24	Опрос по контрольным вопросам Тестирование № 1

2. Эпитаксия кремния. Применение и преимущества метода эпитаксиального наращивания.	4	8	-	24	Опрос по контрольным вопросам
					Тестирование № 2
3. Эпитаксиальные установки. Методы исследования процесса и узлов установок. Материальная база проведения исследований.	4	8	-	24	Опрос по контрольным вопросам
					Тестирование № 3
4. Техника эксперимента при исследовании тепло- и массообмена в процессах газофазного осаждения. Результаты исследования и их анализ	2	8	-	24	Опрос по контрольным вопросам

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Место и назначение основных термических процессов в технологии наномикроэлектроники. Методы и средства для выращивания монокристаллов полупроводников
	2	2	Методы и средства для получения слоев SiO ₂ . Реализация процесса в устройствах.
	3	2	Методы, средства и схемы методов диффузионного легирования кремния Система диффузионно-окислительная СД.ОМ-3/150-005
2	4	2	Эпитаксия кремния. Характеристики и преимущества метода. Методы газофазной эпитаксии. Обобщенные характеристики процесса.
	5	2	Моделирование процесса. Постановка задачи. Физическая и математическая модели. Обобщенные зависимости. Результаты моделирования и их анализ.
3	6	2	Методики и средства исследования процессов осаждения эпитаксиальных слоев кремния. Реакционные камеры промышленных эпитаксиальных установок, схемы потока ПГС.
	7	2	Исследование характеристик потока в зоне осаждения слоев. Материальная база экспериментальных исследований. Информационно-измерительные системы и средства измерения в высокотемпературных потоках газов.

4	8	2	Методики и средства исследования теплообмена подложки и подложкодержателя. Исследование однородности нагрева подложек в высокотемпературных процессах.
---	---	---	--

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	4	МСИО процесса диффузионного легирования и осаждения окисных слоев.
	2	4	Расчеты газовых систем и узлов термического оборудования.
2	3	4	Характеристики обменных процессов в эпитаксиальных реакторах с различными устройствами ввода ПГС в зону осаждения и методики их расчета.
	4	4	Методы и средства исследования тепломассообмена в эпитаксиальных реакторах.
3	5	4	Средства, методика исследования и обработки результатов исследования процесса газофазного осаждения слоев на основе физической аналогии. Материальная база проведения исследований.
	6	4	Математическое моделирование и оптимизация процесса осаждения эпитаксиальных слоев кремния на основании пакета прикладной программ
4	7	4	Термодинамический анализ системы Si-Cl-H. Расчет равновесной концентрации компонентов ПГС в системе Si – Cl – H. Методика и расчет теплофизических свойства ПГС с использованием прикладной программы.
	8	4	Однородность нагрева подложек в эпитаксиальных реакторах различных модификаций. Теплообмен П и ПД в условиях спонтанного теплового и организованного контакта между ними.

4.3. Лабораторные занятия

Не предусмотрены

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	16	Подготовка к лекциям и практическим занятиям: работа с учебниками и учебными пособиями, изучение текстов лекций (электронная версия), изучение сайтов Интернет ресурсов.
	4	Подготовка к контрольным и интерактивным опросам
	4	Подготовка к тестированию № 1
2	16	Подготовка к лекциям и практическим занятиям: работа с учебниками учебными пособиями, изучение текстов лекций (электронная версия), изучение сайтов Интернет ресурсов.
	4	Подготовка к контрольным и интерактивным опросам
	4	Подготовка к тестированию №2
3	16	Подготовка к лекциям и практическим занятиям: работа с учебниками учебными пособиями, изучение текстов лекций (электронная версия), изучение сайтов Интернет ресурсов.
	4	Подготовка к контрольным и интерактивным опросам
	4	Подготовка к тестированию № 3
4	20	Подготовка к лекциям и практическим занятиям: работа с учебниками учебными пособиями, изучение текстов лекций (электронная версия), изучение сайтов Интернет ресурсов.
	4	Подготовка к контрольным и интерактивным опросам

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 организации изучения дисциплины «Методы и средства исследования и оптимизации термических процессов и оборудования»
- ✓ Дополнительные теоретические материалы дисциплины «Методы и средства исследования и оптимизации термических процессов и оборудования»: «Теоретические основы физико- термических процессов».

Модуль 1 Место и назначение базовых термических процессов в технологии МЭ. Ростовые процессы и оборудование. Процессы и оборудование для получения окисных слоев и диффузионного легирования

- ✓ Конспект лекций модуля 1.
- ✓ Методические указания к проведению практических занятий по модулю 1.
- ✓ Методические указания по выполнению практико-ориентированного задания на тему «Теоретическое исследование процессов: роста монокристаллов, окисления кремния, термической диффузии».
- ✓ Вопросы для подготовки к тестовому опросу №1.

Модуль 2 Эпитаксия кремния. Применение и преимущества метода эпитаксиального наращивания

- ✓ Конспект лекций модуля 2.
- ✓ Методические указания к проведению практических занятий по модулю 2.
- ✓ Методические указания по выполнению практико-ориентированного задания на тему «Эпитаксия кремния Обобщенные характеристики и моделирование процесса ».
- ✓ Вопросы для подготовки к тестовому опросу №2».

Модуль 3 Эпитаксиальные установки. Методики исследования процесса и узлов установок. Материальная база проведения исследований.

- ✓ Конспект лекций модуля 3.
- ✓ Методические указания к проведению практических занятий по модулю 3.
- ✓ Методические указания по выполнению практико-ориентированного задания на тему «Эпитаксия кремния Методики и средства исследования процесса и оборудования.».
- ✓ Вопросы для подготовки к тестовому опросу №3.

Модуль 4 Техника эксперимента при исследовании тепло- и массообмена в процессах газозафазного осаждения.. Результаты исследования и их анализ.

- ✓ Конспект лекций модуля 4.
- ✓ Методические указания к проведению практических занятий по модулю 4.
Методические указания по выполнению практико-ориентированного задания на тему «Техника эксперимента при исследовании тепло- и массообмена в в процессах газозафазного осаждения».

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Райнова Ю.П. Быстрые термические процессы в технологии микроэлектроники : Учеб. пособие по курсу "Перспективные процессы в технологии микроэлектроники" / Ю.П. Райнова. - М. : МИЭТ, 2001. - 104 с. - Имеется электронная версия издания. - ISBN 5-7256-0289-3 : б.ц.

2. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий: В 2-х т. : [Учеб. пособие для вузов]. Т. 1 : Физико-химические основы технологии микроэлектроники / Ю.Д. Чистяков, Ю.П. Райнова; Под общ. ред. Ю.Н. Коркишко. - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. - 392 с. - (Нанотехнологии). - ISSN 978-5-9963-0341-0; ISBN 978-5-9963-0335-9; ISBN 978-5-9963-0029-7; ISBN 978-5-9963-0030-3

3. Пономарев В.Б. Оборудование заводов материалов электронной техники : Методические указания. Курс лекций : Учебное электронное текстовое издание / В.Б. Пономарев, А.Б. Лошкарев. - Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2008. - 87 с. - URL : <http://study.urfu.ru/Aid/ViewMeta/7485> (дата обращения: 25.09.2018) - Текст : электронный

4. Самойликов В.К. Лабораторный практикум по курсам "Физикотермические процессы и оборудование" и "Техническая термодинамика охлаждающих систем" [Текст] / В.К. Самойликов; М-во образования и науки РФ, Федеральное агентство по образованию, МГИЭТ(ТУ). - М. : МИЭТ, 2008. - 104 с.

Периодические издания

1. Микроэлектроника / РАН. - М. : ИКЦ Академкнига, 1972 - . - URL : <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7900> (дата обращения: 25.02.2019). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
2. Наноиндустрия : Научно-технический журнал / РИЦ Техносфера. - М. : Техносфера, 2007 - . - URL : <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=25919> (дата обращения: 25.02.2019). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. eLIBRARY.RU : Научная электронная библиотека : сайт. - Москва, 2000 - . - URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
2. Электронно-библиотечная система Лань : сайт. - Санкт-Петербург, 2011 - . - URL: <https://e.lanbook.com/> (дата обращения: 30.09.2019). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации обучения используется смешанное обучение: аудиторное обучение при проведении практических занятий с применением компьютерных технологий, интерактивных лекционных занятий, выполнения контрольных работ и тестирования; дистанционное обучение в виде проведения on-line лекций и практических занятий по Skype.

Значительное место в процессе обучения занимают практические занятия, предназначенные не только для закрепления знаний, полученных на лекционных занятиях и при выполнении самостоятельной работы, но и для получения навыков научно-исследовательской работы. Большая часть практических занятий проводится 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. При наличии расхождений полученных результатов у разных групп экспериментаторов проводится групповое обсуждение с целью выявления допущенных в ходе экспериментов погрешностей («круглый стол»).

При проведении практических занятий студенты не только закрепляют знания, полученные на лекциях, но и получают навыки моделирования на многочисленных примерах термического, в частности эпитаксиального, оборудования. Причем по тематике практических занятий прорабатываются практико-ориентированные задания различной сложности, которые студенты выполняют в отведенное для этого время СРС с предоставлением и оценкой отчетов по выполненной работе с обоснованными выводами.

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами размещенными в электронной информационно-образовательной среде ОРИОКС <http://orioks.miet.ru>.

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: ОРИОКС «Домашние задания», электронная почта преподавателя, Skype и др.

В процессе обучения при проведении занятий и для самостоятельной работы используются внутренние электронные ресурсы (<http://orioks.miet.ru>): электронные версии лекций, практических занятий, практико-ориентированных заданий, методических разработок по тематике курса и др. Для самостоятельной работы разработаны практико-ориентированные задания (ПОЗ) по основным разделам курса.

При дистанционном обучении используются *on-line* лекции и практические занятия по Skype, запись которых выкладывается в *Youtube* и доступна для студентов через среду ОРИОКС.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Компьютерный класс «Центр проектирования трехмерных структур РТС-МИЭТ» аудитория 4116	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в ОРИОКС	Microsoft Office браузер
Помещение для самостоятельной работы обучающихся – «Центр проектирования трехмерных структур РТС-МИЭТ» аудитория 4116	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ.	ОС Microsoft Windows Microsoft Office Acrobat Reader DC браузер

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ / подкомпетенций

1. ФОС по подкомпетенции **ПК-3.МСИО ТПО** – «Способен делать научно-обоснованные выводы и рекомендации по результатам проведенных исследований термических процессов и оборудования, подготавливать отчеты, доклады и научные публикации».

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

Модульное построение курса предполагает изложение содержания модулей в единстве логического подхода. Студенты, изучающие дисциплину обязаны:

- освоить темы 8 лекционных занятий (освоение тем подтверждается сдачей контрольных работ и/или тестов по каждому модулю);
- принять участие в 8 практических занятиях;

В процессе изучения курса предполагается самостоятельная работа студента при подготовке к лекционным и практическим занятиям, выполнению контрольных работ и тестов, написанию реферата и выполнению практико-ориентированных заданий. При этом студент использует методические разработки, рекомендуемую литературу, библиотеку электронных модулей в электронной информационной образовательной среде ОРИОКС, Интернет-ресурсы, информационно-справочные системы.

Подготовка к лекциям и практическим занятиям

Одним из решающих условий качественного обучения студентов является их активная работа на лекциях. Активное слушание лекций должно приобрести характер поиска ответов на поставленные преподавателем вопросы. Правильно их понять можно лишь при условии предельной мобилизации внимания к излагаемому материалу, последовательного усвоения материала, умения записывать основные положения, категории, обобщения, выводы, собственные мысли, замечания, вопросы.

Общие и утвердившиеся в практике правила и приемы конспектирования лекций:

- конспектирование лекций ведется в специально отведенной для этого тетради, каждый лист которой должен иметь поля (4-5 см) для дополнительных записей;
- необходимо записывать тему и план лекции, рекомендуемую литературу к теме; записи разделов лекции должны иметь заголовки, подзаголовки, красные строки;

- названные в лекции ссылки на первоисточники надо пометить на полях, чтобы при самостоятельной работе найти и вписать их;
- в конспекте дословно записываются определения понятий, категорий и законов; остальное должно быть записано своими словами;
- каждому студенту необходимо выработать и использовать допустимые сокращения наиболее распространенных терминов и понятий (например: ПГС –парогазовая смесь; ТО – теплообмен; ТМО – тепломассообмен; ТД – термодинамика; и т.п.).

При проведении лекции в обычной аудитории студентам раздается для работы на лекции справочный и иллюстративный материал.

В конспект следует заносить все то, что преподаватель пишет на доске (демонстрирует с применением наглядных средств), а также рекомендуемые схемы, таблицы, диаграммы и т.д. Надо иметь в виду, что своевременное изучение и отработка прослушанных лекций без длительного промежутка времени значительно экономит время и способствует лучшему усвоению материала.

Очевидно, что максимальная эффективность от работы на лекциях достигается при предварительной подготовке к ней. Студент должен ознакомиться с предстоящей темой лекции и основными её тезисами, предложенными преподавателем или найденными в рекомендуемой основной литературе, подготовить вопросы к лектору по заинтересовавшим разделам.

В процессе изучения модулей проводятся интерактивные лекции: лекции-визуализации, лекции-беседы, лекции-дискуссии по отдельным разделам курса.

Практические занятия (семинары) проводятся под руководством преподавателя. Чтобы хорошо подготовиться к практическому занятию, студенту необходимо:

- уяснить вопросы и задания, рекомендуемые для подготовки к практическому занятию;
- ознакомиться с методическими указаниями, которые представлены в каждом плане практического занятия (см. «Методические указания к практическим занятиям» в электронном виде);
- прочитать конспект лекций и соответствующие главы учебника (учебного пособия), дополнить запись лекций выписками из него;
- прочитать дополнительную литературу, рекомендованную преподавателем; наиболее интересные мысли следует выписать;
- сформулировать и записать развернутые ответы на вопросы для подготовки к практическому занятию;
- решить задачи и тестовые задания, содержащиеся в «Методическом пособии».

При изучении материалов дисциплины МСИО ТПО необходимо соблюдать последовательность усвоения учебного материала. Нельзя переходить к изучению нового, не усвоив предыдущего, так как понимание и знание последующего в курсе базируется на знании предыдущих тем. Студентам целесообразно завести специальный словарь для записи содержания основных понятий.

По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий доступен студенту в ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

Разработчик:

Профессор Института НМСТ
д.т.н., профессор

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized cursive letters, positioned above a horizontal line.

/Самойликов В.К./

Рабочая программа дисциплины «Методы и средства исследования и оптимизации активируемых процессов и оборудования» по направлению 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств» направленности (профилю) «Проектирование технических систем средствами 3D-моделирования» разработана в Институте НМСТ и утверждена на заседании УС Института НМСТ 24 декабря 2020 года, протокол № 6.

Директор института НМСТ

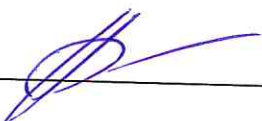
д.т.н., профессор


/С.П. Тимошенко/

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ


Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества (АНОК)

Начальник АНОК


/И.М. Никулина/

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки


/Т.П. Филиппова/