

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Полупроводниковые материалы и структуры

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ НА
НЕТРАДИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.08.01.01
Трудоемкость в зачетных единицах:	1 семестр - 3; 2 семестр - 4; всего - 7
Часов (всего) по учебному плану:	252 часа
Лекции	1 семестр - 32 часа; 2 семестр - 32 часа; всего - 64 часа
Практические занятия	1 семестр - 16 часов; 2 семестр - 16 часов; всего - 32 часа
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	2 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	1 семестр - 59,7 часа; 2 семестр - 93,5 часа; всего - 153,2 часа
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Зачет с оценкой Экзамен	1 семестр - 0,3 часа; 2 семестр - 0,5 часа; всего - 0,8 часа

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Холодный Д.С.
	Идентификатор	R0bac9dac-KholodnyDS-6393810d

Д.С. Холодный

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Холодный Д.С.
	Идентификатор	R0bac9dac-KholodnyDS-6393810d

Д.С. Холодный

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Славинский А.З.
	Идентификатор	R99b3b9ab-SlavinskyAZ-c08f5214

А.З. Славинский

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Целью освоения дисциплины является изучение технологических методов изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем, рассмотрении перспективных направлений развития электронных приборов и технологических методов их изготовления.

Задачи дисциплины

- изучение технологических методов изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем (ИС);
- овладение методами расчета параметров технологических режимов и их связи с параметрами полупроводниковых приборов и ИС;
- изучение современных методов создания ИС, позволяющих получить нанометровые топологические размеры;
- изучение методов изготовления соединений между элементами ИС.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен проводить и разрабатывать технологические процессы изготовления материалов и изделий микро- и нанoeлектроники с заданными свойствами	ИД-1 _{ПК-1} Знает методы контроля и исследования материалов микро- и нанoeлектроники	знать: - свойства абразивных материалов при обработки поверхности полупроводниковой подложки; - методы контроля поверхности полупроводниковой подложки; - этапы подготовки поверхности полупроводниковой подложки; - технологические методы и режимы изготовления изделий микро- и нанoeлектроники; - свойства полупроводников и материалов, используемых при производстве приборов и интегральных схем.. уметь: - приготовить абразивный материал для шлифовки и полировки поверхности полупроводниковой подложки; - осуществлять контроль этапов подготовки поверхности полупроводниковой подложки; - обосновывать выбор материалов, необходимых для производства приборов и ИС; - Выбрать метод контроля основных параметров поверхности полупроводниковой подложки; - выбирать технологические режимы производства приборов и ИС.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Полупроводниковые материалы и структуры (далее – ОПОП), направления подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне высшего образования (бакалавриат, специалитет).

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц, 252 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа								СР		
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1. Основные положения и этапы развития микроэлектроники. Физические основы и методы механической обработки полупроводниковых материалов	23	1	8	-	4	-	-	-	-	-	11	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "1. 1 Основные положения и этапы развития микроэлектроники. Физические основы и методы механической обработки полупроводниковых материалов" <u>Проведение исследований:</u> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы: <u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизадч по разделу "1. 1 Основные положения и этапы развития микроэлектроники. Физические основы и методы механической обработки полупроводниковых материалов". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "1. 1 Основные положения и этапы развития микроэлектроники. Физические основы и методы механической обработки
1.1	1.Основные положения и этапы развития микроэлектроники. Физические основы и методы механической обработки полупроводниковых материалов	23		8	-	4	-	-	-	-	-	11	-	

														выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты: <u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 2-15 [2], 21-432
2	2. Маркировка слитков Ge и Si. Трансмутационное легирование слитков Si. Получение сплавных p – n переходов и создание омических контактов	22		8	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "2. Маркировка слитков Ge и Si. Трансмутационное легирование слитков Si. Получение сплавных p – n переходов и создание омических контактов" материалу.
2.1	2. Маркировка слитков Ge и Si. Трансмутационное легирование слитков Si. Получение сплавных p – n переходов и создание омических контактов	22		8	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<u>Подготовка курсового проекта:</u> Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей: <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "2. Маркировка слитков Ge и Si. Трансмутационное легирование слитков Si. Получение сплавных p – n переходов и создание омических контактов" <u>Проведение исследований:</u> Работа

[illegible]

													Трансмутационное легирование слитков Si. Получение сплавных р – n переходов и создание омических контактов" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 2-15 [2], 21-432	
3	3. Химическая, электрохимическая, плазмохимическая, газовая обработка полупроводниковых пластин.	23		8	-	4	-	-	-	-	-	11	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "3. Химическая, электрохимическая, плазмохимическая, газовая обработка полупроводниковых пластин." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях
3.1	3. Химическая, электрохимическая, плазмохимическая, газовая обработка полупроводниковых пластин.	23		8	-	4	-	-	-	-	-	11	-	<u>Подготовка курсовой работы:</u> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания: <u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу 3. Химическая, электрохимическая, плазмохимическая, газовая обработка полупроводниковых пластин. и подготовка к контрольной работе <u>Проведение эксперимента:</u> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: <u>Подготовка домашнего задания:</u>

[illegible]

														необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 2-15 [2], 21-432
4	4. Защитные диэлектрические плёнки в планарной технологии	22		8	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<u>Подготовка реферата:</u> В рамках реферативной части студенту необходим провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты: <u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "4. Защитные диэлектрические плёнки в планарной технологии". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения:
4.1	4. Защитные диэлектрические плёнки в планарной технологии	22		8	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "4. Защитные диэлектрические плёнки в планарной технологии" <u>Проведение эксперимента:</u> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: <u>Подготовка к практическим занятиям:</u>

														<u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "4. Защитные диэлектрические плёнки в планарной технологии" материалу. <u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие: <u>Подготовка курсового проекта:</u> Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей: <u>Проведение исследований:</u> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяются следующие материалы: <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "4. Защитные диэлектрические плёнки в планарной технологии" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 2-15 [2], 21-432
	Зачет с оценкой	18.0		-	-	-	-	-	-	-	0.3	-	17.7	

	Всего за семестр	108.0		32	-	16	-	-	-	-	0.3	42	17.7	
	Итого за семестр	108.0		32	-	16	-	-	-	-	0.3	59.7		
5	5. Получение полупроводниковых структур методом эпитаксии	17	2	6	-	3	-	-	-	-	-	8	-	<u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие: <u>Подготовка реферата:</u> В рамках реферативной части студенту необходимо провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты: <u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "5. Получение полупроводниковых структур методом эпитаксии". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "5. Получение полупроводниковых структур методом эпитаксии" <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "5. Получение полупроводниковых структур методом эпитаксии"
5.1	5. Получение полупроводниковых структур методом эпитаксии	17		6	-	3	-	-	-	-	-	8	-	

													так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "5. Получение полупроводниковых структур методом эпитаксии" материалу. <u>Подготовка курсового проекта:</u> Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей: <u>Подготовка доклада, выступления:</u> Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам предлагаются следующие варианты: <u>Проведение исследований:</u> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы: <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 2-15 [2], 21-432	
6	6. Планарная технология. Получение р-п переходов методом диффузии.	21		6	-	3	-	-	-	-	-	12	-	<u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие:
6.1	6.Планарная технология. Получение р-п переходов методом	21		6	-	3	-	-	-	-	-	12	-	

[illegible]

														вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты: <u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизадач по разделу "6. Планарная технология. Получение р-п переходов методом диффузии.". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 2-15 [2], 21-432
7	7. Ионное легирование полупроводниковых пластин. Режимы отжига	18		5	-	3	-	-	-	-	-	10	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "7. Ионное легирование полупроводниковых пластин. Режимы отжига"
7.1	7.Ионное легирование полупроводниковых пластин. Режимы отжига	18		5	-	3	-	-	-	-	-	10	-	<u>Проведение эксперимента:</u> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "7. Ионное легирование полупроводниковых пластин. Режимы отжига" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Подготовка курсовой работы:</u> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания:

[illegible]

														по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты: <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 2-15 [2], 21-432
8	8. Фотолитография, иммерсионная литография, рентгено- и электронная литография.	18		5	-	3	-	-	-	-	-	10	-	<u>Подготовка расчетно-графического задания:</u> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие: <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "8. Фотолитография, иммерсионная литография, рентгено- и электронная литография." <u>Проведение исследований:</u> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы: <u>Подготовка реферата:</u> В рамках реферативной части студенту необходимо провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты: <u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "8. Фотолитография, иммерсионная литография, рентгено- и электронная литография.". Студенты необходимо повторить теоретический материал,
8.1	8. Фотолитография, иммерсионная литография, рентгено- и электронная литография.	18		5	-	3	-	-	-	-	-	10	-	

														Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "8. Фотолитография, иммерсионная литография, рентгено- и электронная литография." материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "8. Фотолитография, иммерсионная литография, рентгено- и электронная литография." материалу. <u>Подготовка курсового проекта:</u> Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей: <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 2-15 [2], 21-432
9	9.0	17		5	-	2	-	-	-	-	-	10	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u>
9.1	9.	17		5	-	2	-	-	-	-	-	10	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u>

														[1], 2-15 [2], 21-432
10	10.	17		5	-	2	-	-	-	-	-	10	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 2-15 [2], 21-432
10.1	10.	17		5	-	2	-	-	-	-	-	10	-	
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0		32	-	16	-	2	-	-	0.5	60	33.5	
	Итого за семестр	144.0		32	-	16	2		-		0.5	93.5		
	ИТОГО	252.0	-	64	-	32	2		-		0.8	153.2		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПР – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. 1. Основные положения и этапы развития микроэлектроники. Физические основы и методы механической обработки полупроводниковых материалов

1.1. 1. Основные положения и этапы развития микроэлектроники. Физические основы и методы механической обработки полупроводниковых материалов

1 Поколения приборов электронной техники. Этапы развития микроэлектроники. Правило Мура. Понятие минимального топологического размера. Физические основы шлифования и полирования: хрупкое разрушение и пластическая деформация, создание технологических условий для реализации этих процессов. Определение критического размера абразивного зерна. Оптимизация процесса шлифования. Виды и свойства абразивных материалов. Способы резания слитков на пластины и пластин – на кристаллы..

2. 2. Маркировка слитков Ge и Si. Трансмутационное легирование слитков Si. Получение сплавных p – n переходов и создание омических контактов

2.1. 2. Маркировка слитков Ge и Si. Трансмутационное легирование слитков Si. Получение сплавных p – n переходов и создание омических контактов

2. Отечественные методы маркировки слитков Ge, Si и эпитаксиальных структур. Разброс электрических параметров слитков кремния, выращенных из легированных расплавов. Трансмутационное легирование кремния как метод, позволяющий получать слитки с минимальным разбросом параметров. Физические основы метода, виды ядерных превращений (β -распад) в слитках кремния при облучении высокоэнергетическими частицами. Лазерное легирование как метод сплавления. Влияние формы p-n перехода на его электрические характеристики на примере точечного p-n перехода. Определение омических контактов и роль сплавления при создании омических контактов.

3. 3. Химическая, электрохимическая, плазмохимическая, газовая обработка полупроводниковых пластин.

3.1. 3. Химическая, электрохимическая, плазмохимическая, газовая обработка полупроводниковых пластин.

3. Отмывка полупроводниковых пластин. Методы получения и контроль качества деионизованной воды. Контроль качества пластин после отмывки. Обезжиривание кремниевых пластин и травление в жидких травителях. Технологический процесс электрохимической обработки. Ионно-плазменная обработка полупроводниковых материалов. Газовая обработка кремниевых пластин. Электрохимическое травление кремния. Пористый кремний: способ получения, классификация, свойства, возможные области применения.

4. 4. Защитные диэлектрические плёнки в планарной технологии

4.1. 4. Защитные диэлектрические плёнки в планарной технологии

Назначение диэлектрических плёнок. Получение плёнок диоксида кремния термическим окислением, кинетика процесса, зависимость толщины слоя SiO₂ от времени окисления. Особенности окисления в сухом и влажном кислороде. Получение диоксида кремния методом пиролиза, осаждение диоксида кремния из газовой фазы. Низкотемпературные методы получения плёнок диоксида кремния. Методы получения и свойства нитрида кремния (Si₃N₄). Контроль параметров защитных диэлектрических плёнок.

5. 5. Получение полупроводниковых структур методом эпитаксии

5.1. 5. Получение полупроводниковых структур методом эпитаксии

5. Технология газофазной эпитаксии. Зависимость скорости эпитаксиального роста от концентрации тетрахлорида кремния (SiCl_4). Кинетика роста эпитаксиального слоя. Температурная зависимость скорости роста эпитаксиального слоя, обоснование выбора рабочей области температур. Методы легирования эпитаксиальных слоёв. Замещение SiCl_4 другими соединениями с меньшей энергией активации процесса. Оборудование и технология эпитаксиального выращивания кремния хлоридным методом. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Жидкофазные методы эпитаксии. Дефекты эпитаксиальных структур и методы их контроля. Виды оборудования для жидкофазной эпитаксии.

6. 6. Планарная технология. Получение p-n переходов методом диффузии.

6.1. 6. Планарная технология. Получение p-n переходов методом диффузии.

6. Понятие планарной технологии. Создание p-n переходов методом диффузии. Механизмы и основные уравнения диффузии. Диффузия из бесконечного и ограниченного источников. Распределение примесей в многослойной диффузионной структуре. Распределение примесей в реальных диффузионных структурах. Объяснение причин отклонения реальных данных от расчетных. Основные источники легирующих примесей. Технологические методы диффузии и оборудование. Методы контроля диффузионных структур.

7. 7. Ионное легирование полупроводниковых пластин. Режимы отжига

7.1. 7. Ионное легирование полупроводниковых пластин. Режимы отжига

7. Достоинства и ограничения метода ионного легирования (ИЛ). Оборудование для ИЛ, источники ионов, сепарирование ионов. Измерение дозы легирования. Распределение ионов в полупроводниковых мишенях. Аморфная мишень. Распределение ионов в мишени при наличии каналирования. Отжиг имплантированных структур. Зависимость температуры отжига от количества структурных нарушений в полупроводнике. Перевод примеси в электрически активное состояние путем отжига, метод имплантации с последующей аморфизацией кремния. Создание самосовмещенного изолированного электрода методом ИЛ. Создание контактов для «мелких» p-n переходов с помощью ионной имплантации.

8. 8. Фотолитография, иммерсионная литография, рентгено- и электронная литография.

8.1. 8. Фотолитография, иммерсионная литография, рентгено- и электронная литография.

8. Фотолитография в производстве полупроводниковых приборов. Процессы прямой и обращенной фотолитографии. Негативные и позитивные фоторезисты. Основные этапы фотолитографии: обработка поверхности, нанесение, сушка, задубливание и удаление фоторезиста (ФР). Экспонирование ФР УФ-излучением, ограничение топологических размеров. Современные технологические методы, позволяющие уменьшать топологический размер. Иммерсионная литография, рентгеновская и электронная литография и их влияние на топологические размеры ИС. Анализ схем установок иммерсионной и электронной литографии. Создание гетеропереходов как способ уменьшения топологических размеров ИС (примеры гетеропереходов).

9. 9.0

9.1. 9.

9.

10. 10.

10.1. 10.

10..

3.3. Темы практических занятий

1. 8;

2. 7;

3. 6;

4. 5;

5. 4;

6. 3;

7. 2;

8. 1.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)										Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Знать:												
свойства полупроводников и материалов, используемых при производстве приборов и интегральных схем.	ИД-1 _{ПК-1}			+								Контрольная работа/КМ-3 Контр. работа «Получение диэлектрических слоев на поверхности полупроводников.»
технологические методы и режимы изготовления изделий микро- и нанoeлектроники	ИД-1 _{ПК-1}				+							Контрольная работа/КМ-4 Тест «Газовая и жидкостная эпитаксия слоёв кремния»
этапы подготовки поверхности полупроводниковой подложки	ИД-1 _{ПК-1}					+						Контрольная работа/КМ-5 Тест «Получение р-п переходов методом диффузии»
методы контроля поверхности полупроводниковой подложки	ИД-1 _{ПК-1}	+										Контрольная работа/КМ-1 Тест «Механическая обработка полупроводников. Маркировка слитков Ge, Si»
свойства абразивных материалов при обработки поверхности полупроводниковой подложки	ИД-1 _{ПК-1}		+									Контрольная работа/КМ-2 Контрольная работа «Химическая обработка поверхности полупроводников. Трансмутационное легирование слитков Si»
Уметь:												
выбирать технологические режимы производства приборов и ИС	ИД-1 _{ПК-1}						+					Контрольная работа/КМ-6 Контрольная работа «Расчет диффузионных параметров»
Выбрать метод контроля основных параметров поверхности полупроводниковой подложки	ИД-1 _{ПК-1}							+				Контрольная работа/КМ-7 Контрольная работа «Получение р-п переходов методом ионного легирования»
обосновывать выбор материалов, необходимых для производства приборов и ИС	ИД-1 _{ПК-1}								+			Контрольная работа/КМ-8 Тест «Современные методы литография»
осуществлять контроль этапов	ИД-1 _{ПК-1}									+		Контрольная работа/КМ-8 Тест

подготовки поверхности полупроводниковой подложки												«Современные методы литография»
приготовить абразивный материал для шлифовки и полировки поверхности полупроводниковой подложки	ИД-1 _{ПК-1}										+	Контрольная работа/КМ-8 Тест «Современные методы литография»

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

1 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. КМ-1 Тест «Механическая обработка полупроводников. Маркировка слитков Ge, Si» (Контрольная работа)
2. КМ-2 Контрольная работа «Химическая обработка поверхности полупроводников. Трансмутационное легирование слитков Si» (Контрольная работа)
3. КМ-4 Тест «Газовая и жидкостная эпитаксия слоёв кремния» (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. КМ-3 Контр. работа «Получение диэлектрических слоев на поверхности полупроводников.» (Контрольная работа)

2 семестр

Форма реализации: Компьютерное задание

1. КМ-8 Тест «Современные методы литография» (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. КМ-5 Тест «Получение р-п переходов методом диффузии» (Контрольная работа)
2. КМ-6 Контрольная работа «Расчет диффузионных параметров» (Контрольная работа)
3. КМ-7 Контрольная работа «Получение р-п переходов методом ионного легирования» (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №1)

стандартные

Экзамен (Семестр №2)

стандартные

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Воронков, Э. Н. Полупроводниковые нетрадиционные источники тока : практикум по курсу "Полупроводниковые нетрадиционные источники тока" по направлению "Электроника и нанoeлектроника" / Э. Н. Воронков, Д. А. Зезин, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2016 . – 16 с.
<http://elibrn.mpei.ru/elibrn/view.php?id=8458>;

2. И. Д. Войтович, В. М. Корсунский- "Нанoeлектронная элементная база информатики на основе полупроводников и ферромагнетиков", (2-е изд., испр.), Издательство: "Национальный Открытый Университет «ИНТУИТ»", Москва, 2016 - (457 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=429108>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Е-305, Аудитория для проведения лекционных и практических занятий	рабочее место сотрудника, стеллаж для хранения инвентаря, стол преподавателя, стул, вешалка для одежды, оборудование специализированное
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Е-305, Аудитория для проведения лекционных и практических занятий	рабочее место сотрудника, стеллаж для хранения инвентаря, стол преподавателя, стул, вешалка для одежды, оборудование специализированное
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Е-301, Лаборатория полупроводниковых приборов и компонентов	стол, стул, шкаф для документов, стол письменный, оборудование учебное, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Е-305, Аудитория для проведения лекционных и практических занятий	рабочее место сотрудника, стеллаж для хранения инвентаря, стол преподавателя, стул, вешалка для одежды, оборудование специализированное
Помещения для самостоятельной работы	Е-310, Дисплейный класс каф. "ФТЭМК"	стол преподавателя, стол, стул, вешалка для одежды, доска меловая, мультимедийный проектор, доска маркерная передвижная, ноутбук, компьютер персональный, учебно-наглядное пособие
Помещения для	Е-302, Учебная	парта со скамьей, стол преподавателя,

консультирования	аудитория каф. "ФТЭМК"	стол учебный, стул, доска меловая
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Е-302/1, Склад "ФТЭМК"	стол

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Технология полупроводниковых приборов на нетрадиционных материалах

(название дисциплины)

1 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 КМ-1 Тест «Механическая обработка полупроводников. Маркировка слитков Ge, Si» (Контрольная работа)
- КМ-2 КМ-2 Контрольная работа «Химическая обработка поверхности полупроводников. Трансмутационное легирование слитков Si» (Контрольная работа)
- КМ-3 КМ-3 Контр. работа «Получение диэлектрических слоев на поверхности полупроводников.» (Контрольная работа)
- КМ-4 КМ-4 Тест «Газовая и жидкостная эпитаксия слоёв кремния» (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	15
1	1. Основные положения и этапы развития микроэлектроники. Физические основы и методы механической обработки полупроводниковых материалов					
1.1	1.Основные положения и этапы развития микроэлектроники. Физические основы и методы механической обработки полупроводниковых материалов		+			
2	2. Маркировка слитков Ge и Si. Трансмутационное легирование слитков Si. Получение сплавных р – п переходов и создание омических контактов					
2.1	2. Маркировка слитков Ge и Si. Трансмутационное легирование слитков Si. Получение сплавных р – п переходов и создание омических контактов			+		
3	3. Химическая, электрохимическая, плазмохимическая, газовая обработка полупроводниковых пластин.					
3.1	3. Химическая, электрохимическая, плазмохимическая, газовая обработка полупроводниковых пластин.				+	
4	4. Защитные диэлектрические плёнки в планарной технологии					
4.1	4. Защитные диэлектрические плёнки в планарной технологии					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-5 КМ-5 Тест «Получение р-п переходов методом диффузии» (Контрольная работа)
- КМ-6 КМ-6 Контрольная работа «Расчет диффузионных параметров» (Контрольная работа)
- КМ-7 КМ-7 Контрольная работа «Получение р-п переходов методом ионного легирования»

(Контрольная работа)
 КМ-8 КМ-8 Тест «Современные методы литография» (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8
		Неделя КМ:	4	8	12	15
1	5. Получение полупроводниковых структур методом эпитаксии					
1.1	5. Получение полупроводниковых структур методом эпитаксии		+			
2	6. Планарная технология. Получение р-п переходов методом диффузии.					
2.1	6.Планарная технология. Получение р-п переходов методом диффузии.			+		
3	7. Ионное легирование полупроводниковых пластин. Режимы отжига					
3.1	7.Ионное легирование полупроводниковых пластин. Режимы отжига				+	
4	8. Фотолитография, иммерсионная литография, рентгено- и электронная литография.					
4.1	8. Фотолитография, иммерсионная литография, рентгено- и электронная литография.					+
5	9.0					
5.1	9.					+
6	10.					
6.1	10.					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25