

**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 И**  
**ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ**

<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.Ч.08.01.02
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	1 семестр - 3; 2 семестр - 4; всего - 7
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	252 часа
<b>Лекции</b>	1 семестр - 32 часа; 2 семестр - 32 часа; всего - 64 часа
<b>Практические занятия</b>	1 семестр - 16 часов; 2 семестр - 16 часов; всего - 32 часа
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	2 семестр - 2 часа;
<b>Самостоятельная работа</b>	1 семестр - 59,7 часа; 2 семестр - 93,5 часа; всего - 153,2 часа
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b>	
<b>Контрольная работа</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Зачет с оценкой</b>	1 семестр - 0,3 часа;
<b>Экзамен</b>	2 семестр - 0,5 часа; всего - 0,8 часа

**Москва 2023**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Антонов В.А.
	Идентификатор	R9081edee-AntonovVA-4b80b823

(подпись)

В.А. Антонов

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Холодный Д.С.
	Идентификатор	R0bac9dac-KholodnyDS-6393810f

(подпись)

Д.С. Холодный

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

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

(подпись)

А.З. Славинский

(расшифровка подписи)

## 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-2ПК-1 1 Умеет выбирать перспективные материалы микро- и нанoeлектроники	знать: - свойства полупроводников и материалов, используемых при производстве приборов и интегральных схем..  уметь: - обосновывать выбор материалов, необходимых для производства приборов и ИС.
ПК-3 способен осуществлять разработку пооперационного маршрута изготовления нанoeлектронных изделий в составе проектной группы	ИД-4ПК-3 Определение порядка, вида и технологических параметров операций	знать: - технологические методы и режимы изготовления изделий микро- и нанoeлектроники.  уметь: - 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 среднего общего образования.

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. 1 Основные положения и этапы развития микроэлектроники. Физические основы и методы механической обработки полупроводниковых материалов	22	1	8	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Проведение исследований:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы:</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> 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:</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "1. 1 Основные положения и этапы развития микроэлектроники. Физические основы и методы механической обработки полупроводниковых материалов"</p> <p><b><u>Проведение эксперимента:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование:</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b></p>
1.1	1.1 Основные положения и этапы развития микроэлектроники. Физические основы и методы механической обработки полупроводниковых материалов	22		8	-	4	-	-	-	-	-	10	-	





														<p><b><u>Подготовка реферата:</u></b> 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:</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[3], 3-400 [4], 3-150</p>
2	2. Маркировка слитков Ge и Si. Трансмутационное легирование слитков Si. Получение сплавных p – n переходов и создание омических контактов	22	8	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "2. Маркировка слитков Ge и Si. Трансмутационное легирование слитков Si. Получение сплавных p – n переходов и создание омических контактов"</p> <p><b><u>Проведение исследований:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы:</p> <p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> 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:</p> <p><b><u>Подготовка реферата:</u></b> 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</p>	
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	-	<p>Для проведения исследования применяется следующие материалы:</p> <p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> 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:</p> <p><b><u>Подготовка реферата:</u></b> 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</p>	







														Получение сплавных р – n переходов и создание омических контактов" материалу. <b><u>Подготовка курсового проекта:</u></b> 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: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [4], 3-150
3	3. Химическая, электрохимическая, плазмохимическая, газовая обработка полупроводниковых пластин.	23	8	-	4	-	-	-	-	-	11	-	<b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "3. Химическая, электрохимическая, плазмохимическая, газовая обработка полупроводниковых пластин.". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "3. Химическая, электрохимическая, плазмохимическая, газовая обработка полупроводниковых пластин." <b><u>Проведение эксперимента:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "3. Химическая, электрохимическая, плазмохимическая, газовая обработка	
3.1	3. Химическая, электрохимическая, плазмохимическая, газовая обработка полупроводниковых пластин.	23	8	-	4	-	-	-	-	-	11	-		





														вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [4], 3-150
4	4. Защитные диэлектрические плёнки в планарной технологии	23		8	-	4	-	-	-	-	-	11	-	<b><u>Подготовка реферата:</u></b> 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: <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> 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: <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "4. Защитные диэлектрические плёнки в планарной технологии" <b><u>Проведение эксперимента:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "4. Защитные диэлектрические плёнки в
4.1	4. Защитные диэлектрические плёнки в планарной технологии	23		8	-	4	-	-	-	-	-	11	-	



													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. <b><u>Подготовка курсового проекта:</u></b> 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: <b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертёж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие: <b><u>Проведение исследований:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы: <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "4. Защитные диэлектрические плёнки в планарной технологии" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 140-168 [4], 3-150
	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	27	2	8	-	4	-	-	-	-	-	15	-	<p><b><u>Подготовка реферата:</u></b> 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:</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> 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:</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "5. Получение полупроводниковых структур методом эпитаксии"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "5. Получение полупроводниковых структур методом эпитаксии"</p> <p><b><u>Проведение эксперимента:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование:</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "5. Получение полупроводниковых структур методом эпитаксии" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи</p>
5.1	5. Получение полупроводниковых структур методом эпитаксии	27		8	-	4	-	-	-	-	-	15	-	





														<p>структур методом эпитаксии" материалу.</p> <p><b><u>Подготовка курсового проекта:</u></b> 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:</p> <p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> 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:</p> <p><b><u>Проведение исследований:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы:</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], 172-202 [3], 122-135 [4], 3-150</p>
6	6. Планарная технология. Получение р-п переходов методом диффузии.	27	8	-	4	-	-	-	-	-	-	15	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "6. Планарная технология. Получение р-п переходов методом диффузии."</p> <p><b><u>Подготовка реферата:</u></b> 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</p>
6.1	6.Планарная технология. Получение р-п переходов методом диффузии.	27	8	-	4	-	-	-	-	-	-	15	-	





															решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей: <b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> 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: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [4], 3-150
7	7. Ионное легирование полупроводниковых пластин. Режимы отжига	27	8	-	4	-	-	-	-	-	-	15	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "7. Ионное легирование полупроводниковых пластин. Режимы отжига" <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "7. Ионное легирование полупроводниковых пластин. Режимы отжига" <b><u>Проведение эксперимента:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: <b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "7. Ионное легирование полупроводниковых пластин. Режимы отжига" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <b><u>Подготовка курсовой работы:</u></b> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример	
7.1	7.Ионное легирование полупроводниковых пластин. Режимы отжига	27	8	-	4	-	-	-	-	-	-	15	-		





														<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [4], 3-150
8	8. Фотолитография, иммерсионная литография, рентгено- и электронная литография.	27	8	-	4	-	-	-	-	-	-	15	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "8. Фотолитография, иммерсионная литография, рентгено- и электронная литография." <b><u>Проведение исследований:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы: <b><u>Подготовка реферата:</u></b> 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: <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "8. Фотолитография, иммерсионная литография, рентгено- и электронная литография.". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "8. Фотолитография, иммерсионная литография, рентгено- и электронная литография." <b><u>Проведение эксперимента:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование:
8.1	8. Фотолитография, иммерсионная литография, рентгено- и электронная литография.	27	8	-	4	-	-	-	-	-	-	15	-	





														<p>Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> 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.</p> <p><b><u>Подготовка курсового проекта:</u></b> 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:</p> <p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> 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:</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[2], 135-170 [4], 3-150</p>
	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. 1 Основные положения и этапы развития микроэлектроники. Физические основы и методы механической обработки полупроводниковых материалов

1.1. 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 ( $\beta$ -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 SiO<sub>2</sub> 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 (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>). 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 ( $\text{SiCl}_4$ ). Кинетика роста эпитаксиального слоя. Температурная зависимость скорости роста эпитаксиального слоя, обоснование выбора рабочей области температур. Методы легирования эпитаксиальных слоёв. Замещение  $\text{SiCl}_4$  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).

## **3.3. Темы практических занятий**

1. 1 семестр 1 Вводная беседа. Расчёт количества промывок в деионизованной воде (2 часа).;
2. 2 семестр 1 Расчёт оптимальных размеров абразивных порошков для шлифования.

- Расчёт критического размера абразива, при котором происходит переход от шлифования к полированию (2 часа).;
3. 3 семестр 1 Транс мутационное легирование: запись ядерных реакций при транс мутационном легировании (2 часа).;
  4. 4 семестр 1 Расшифровать и записать марки слитков Ge, Si и эпитаксиальных структур. Рассчитать зависимость толщины плёнки SiO<sub>2</sub> от времени термического окисления пластины кремния при окислении в сухом и во влажном кислороде, а также при окислении комбинированным методом (4 часа).;
  5. 5 семестр 1 Окисление кремния при повышенном давлении (2 часа).;
  6. 6 семестр 1 Рассчитать зависимость толщины пленки Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> от времени (4 часа).;
  7. 1 семестр 2 Рассчитать распределение примесей в многослойной диффузионной структуре (2 часа).;
  8. 2 семестр 2 Рассчитать диффузию примесей в плёнки диоксида кремния и нитрида кремния, определить необходимую толщину пленок диоксида и нитрида для защиты кремния при диффузии (4 часа);
  9. 3 семестр 2 Рассчитать зависимость глубины залегания p-n перехода от времени диффузии при разных температурах. Рассчитать распределение быстро диффундирующей примеси (Au) в кремнии (2 часа).;
  10. 4 семестр 2 Рассчитать время имплантации ионов примеси в пластину кремния. Рассмотреть случай малого времени имплантации и дать физическую интерпретации полученного результата. Рассчитать критический угол каналирования для кремния (2 часа).;
  11. 5 семестр 2 Рассчитать дозы ионного легирования, методы измерения дозы легирования (2 часа).;
  12. 6 семестр 2 Рассчитать распределение примеси в кремнии при ионном легировании для случая аморфной мишени. Рассчитать распределение примеси после отжига имплантированной структуры (4 часа)..

### **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	
<b>Знать:</b>										
свойства полупроводников и материалов, используемых при производстве приборов и интегральных схем.	ИД-2ПК-1	+	+							Контрольная работа/КМ-1 Тест «Механическая обработка полупроводников. Маркировка слитков Ge, Si» Контрольная работа/КМ-2 Контрольная работа «Химическая обработка поверхности полупроводников. Трансмутационное легирование слитков Si»
технологические методы и режимы изготовления изделий микро- и нанoeлектроники	ИД-4ПК-3			+	+					Контрольная работа/КМ-3 Контр. работа «Получение диэлектрических слоев на поверхности полупроводников.» Контрольная работа/КМ-4 Тест «Газовая и жидкостная эпитаксия слоёв кремния»
<b>Уметь:</b>										
обосновывать выбор материалов, необходимых для производства приборов и ИС	ИД-2ПК-1					+	+			Контрольная работа/КМ-5 Тест «Получение р-п переходов методом диффузии» Контрольная работа/КМ-6 Контрольная работа «Расчет диффузионных параметров»
выбирать технологические режимы производства приборов и ИС	ИД-4ПК-3							+	+	Контрольная работа/КМ-7 Контрольная работа «Получение р-п переходов методом ионного легирования» 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. Ефимов, И. Е. Основы микроэлектроники : учебник / И. Е. Ефимов, И. Я. Козырь . – 3-е изд., стер . – СПб. : Лань-Пресс, 2008 . – 384 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература) . - ISBN 978-5-8114-0866-5 .;
2. Курносов, А. И. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем : учебное пособие для вузов по специальностям "Полупроводники и



диэлектрики" и "Полупроводниковые приборы" / А. И. Курносов, В. В. Юдин . – 3-е изд., перераб. и доп . – М. : Высшая школа, 1986 . – 368 с.;

3. Курносов, А. И. Технология производства полупроводниковых приборов : Учебное пособие для вузов по специальности "Полупроводники и диэлектрики" / А. И. Курносов, В. В. Юдин . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Высшая школа, 1974 . – 400 с.;

4. Кручинин В. В.- "Компьютерные технологии в науке, образовании и производстве электронной техники", Издательство: "ТУСУР", Москва, 2012 - (154 с.)

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=4945](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=4945).

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";

2. Windows / Операционная система семейства Linux;

3. Windows Server / Серверная операционная система семейства Linux.

## 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](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>

9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>

10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>

11. Журналы American Chemical Society - <https://www.acs.org/content/acs/en.html>

12. Журналы American Institute of Physics - <https://www.scitation.org/>

13. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>

## 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 консультирования	Е-302, Учебная аудитория каф. "ФТЭМК"	парта со скамьей, стол преподавателя, 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 и интегральных схем

(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. 1 Основные положения и этапы развития микроэлектроники. Физические основы и методы механической обработки полупроводниковых материалов					
1.1	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 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		+	+		
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 p-n переходов методом диффузии» (Контрольная работа)
- КМ-6 КМ-6 Контрольная работа «Расчет диффузионных параметров» (Контрольная работа)
- КМ-7 КМ-7 Контрольная работа «Получение p-n 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.				+	+
Вес КМ, %:			25	25	25	25