

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

Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Нанотехнология в электронике

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Основы технологии электронной компонентной базы**

**Москва
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сарач О.Б.
	Идентификатор	R2562e7bf-SarachOB-f26c228a

(подпись)

О.Б. Сарач

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

(должность, ученая степень,
ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	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)

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

(подпись)

А.З.
Славинский

(расшифровка
подписи)

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

- ПК-1 Способен участвовать в проектировании полупроводниковых приборов
ИД-2 Демонстрирует знание соответствия технологии производства и процесса проектирования полупроводниковых приборов и структур
- ПК-2 Способен участвовать в проведении исследований материалов электронной техники, микро- и нанoeлектроники
ИД-2 Обладает знаниями о структуре и физико-химических свойствах материалов электронной техники, микро- и нанoeлектроники

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Защита задания

- Защита лабораторной работы №1. Фотошаблоны и последовательность изготовления структур ИС (Лабораторная работа)
- Защита лабораторной работы №2. Термическое окисление кремния (Лабораторная работа)
- Защита лабораторной работы №3. Диффузионное легирование полупроводников (Лабораторная работа)
- Защита лабораторной работы №4. Изучение особенностей легирования методом ионной имплантации (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

- Тест. Термины в области технологии электронной компонентной базы (Тестирование)

Форма реализации: Проверка задания

- Расчетное задание. Расчет параметров технологических операций при производстве ИС (Расчетно-графическая работа)

БРС дисциплины

5 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %						
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
	Срок КМ:	4	8	10	12	14	16
Основные понятия технологии							
Основные понятия технологии	+						

Конструкции и технологические последовательности изготовления электронной компонентной базы						
Конструкции и технологические последовательности изготовления электронной компонентной базы		+				+
Основные процессы технологии электронной компонентной базы						
Создание рисунка слоев интегральных схем			+	+		
Методы нанесения слоев						+
Легирование полупроводников					+	
Монтажно-сборочные и контрольные операции						
Монтажно-сборочные и контрольные операции		+				+
Вес КМ:	10	15	15	20	20	20

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-1	ИД-2 _{ПК-1} Демонстрирует знание соответствия технологии производства и процесса проектирования полупроводниковых приборов и структур	Знать: основные технологические операции, используемые при производстве электронной компонентной базы современные тенденции развития микроэлектроники Уметь: выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе технологических операций	Защита лабораторной работы №1. Фотошаблоны и последовательность изготовления структур ИС (Лабораторная работа) Защита лабораторной работы №2. Термическое окисление кремния (Лабораторная работа) Защита лабораторной работы №3. Диффузионное легирование полупроводников (Лабораторная работа) Защита лабораторной работы №4. Изучение особенностей легирования методом ионной имплантации (Лабораторная работа)
ПК-2	ИД-2 _{ПК-2} Обладает знаниями о структуре и физико-химических свойствах материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники	Знать: термины в области технологии электронной компонентной базы Уметь: рассчитывать основные параметры технологических операций, используемых при производстве	Тест. Термины в области технологии электронной компонентной базы (Тестирование) Расчетное задание. Расчет параметров технологических операций при производстве ИС (Расчетно-графическая работа)

		интегральных схем	
--	--	-------------------	--

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Тест. Термины в области технологии электронной компонентной базы

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Тестирование

Вес контрольного мероприятия в БРС: 10

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в письменной форме.

Время выполнения 20 минут.

Краткое содержание задания:

Ответить на вопросы

Контрольные вопросы/задания:

Знать: термины в области технологии электронной компонентной базы	<ol style="list-style-type: none">1.Какая функция точнее всего описывает профиль распределения примеси, полученный в результате легирования методом ионной имплантации?2.Какая функция точнее всего описывает профиль распределения примеси, полученный в результате легирования методом диффузионного легирования из постоянного источника?3.Какая функция точнее всего описывает профиль распределения примеси, полученный в результате легирования методом диффузионного легирования из ограниченного источника?4.На каком рисунке показано изменение во времени профиля распределения примеси, получаемого в результате ионной имплантации без эффекта каналирования?5.На каком рисунке показано изменение во времени профиля распределения примеси, получаемого в результате ионной имплантации с эффектом каналирования?
---	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

КМ-2. Защита лабораторной работы №1. Фотошаблоны и последовательность изготовления структур ИС

Формы реализации: Защита задания

Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в устной форме во время лабораторных занятий

Краткое содержание задания:

Изучить конструкцию транзисторов ИС и технологическую последовательность их изготовления

Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные технологические операции, используемые при производстве электронной компонентной базы	1.Как осуществляется выбор вида легирующей примеси? 2.Какие методы легирования используются при изготовлении полупроводниковых приборов и ИС? 3.Как формируется рисунок слоев при изготовлении ИС? 4.Какие методы нанесения слоев используются при изготовлении полупроводниковых приборов и ИС? 5.Как осуществляется локальное травление?
---	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

КМ-3. Защита лабораторной работы №2. Термическое окисление кремния

Формы реализации: Защита задания

Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в устной форме во время лабораторных занятий

Краткое содержание задания:

Ознакомиться с технологией получения пленок оксида кремния методом термического окисления

Контрольные вопросы/задания:

<p>Уметь: выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе технологических операций</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.Поясните, как по мере роста окисной пленки меняется скорость окисления 2.Сравните различные методы получения слоев оксида кремния 3.Назовите основные механизмы нестабильности МДП-структур 4.Назовите требования к маске при локальном диффузионном легировании 5.Назовите требования к маске при локальном ионном легировании
---	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения задания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения задания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения задания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

КМ-4. Защита лабораторной работы №3. Диффузионное легирование полупроводников

Формы реализации: Защита задания

Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в устной форме во время лабораторных занятий

Краткое содержание задания:

Ознакомиться с процессом диффузии в полупроводниках

Контрольные вопросы/задания:

<p>Уметь: выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе технологических операций</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.Объясните, каком случае для легирования кремния выбираются мышьяк или сурьма? 2.Объясните, каком случае для легирования кремния выбирается алюминий? 3.Поясните, каковы особенности диффузии примеси при больших концентрациях диффузанта? 4.Объясните, как выбирается давление паров диффузанта при диффузии в потоке газа – носителя? 5.Поясните, каковы преимущества метода параллельного источника?
---	---

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

КМ-5. Расчетное задание. Расчет параметров технологических операций при производстве ИС

Формы реализации: Проверка задания

Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Задание выполняется студентами дома самостоятельно

Краткое содержание задания:

Рассчитать и построить профили распределения примеси

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: рассчитывать основные параметры технологических операций, используемых при производстве интегральных схем	<ol style="list-style-type: none">1. Рассчитать и построить профиль распределения примеси, полученный в результате диффузии из неограниченного источника примеси (подложка Si, диффузانت фосфор, $T=1200\text{ C}$, время диффузии 2 часа)2. Рассчитать и построить профиль распределения примеси, полученный в результате диффузии из точечного источника примеси (подложка Si, диффузانت фосфор, доза $Q=10\ 15\ 1/\text{cm}^2$, $T=1200\text{ C}$, время диффузии 2 часа)3. Рассчитать и построить профиль распределения примеси, полученный в результате ионной имплантации (подложка Si, легирование бором, энергия 90 кэВ, доза 70 мкКл/см²)4. Рассчитать и построить профиль распределения примеси, полученный в результате ионной имплантации с последующим отжигом (подложка Si, легирование бором, энергия 90 кэВ, доза 70 мкКл/см², время отжига 30 минут, $T=1100\text{ C}$)5. Рассчитать и построить профиль распределения примеси, полученный в результате многостадийной диффузии примеси (подложка Si, диффузانت бор, $T=1200\text{ C}$, время загонки 30 минут, время разгонки 3 часа)
--	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

КМ-6. Защита лабораторной работы №4. Изучение особенностей легирования методом ионной имплантации

Формы реализации: Защита задания

Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 20

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в устной форме во время лабораторных занятий

Краткое содержание задания:

Ознакомиться с основами ионного легирования, расчетом дозы, глубины залегания переходов

Контрольные вопросы/задания:

Знать: основные технологические операции, используемые при производстве электронной компонентной базы	1.Как контролируется количество примеси, введенной в процессе диффузии и в процессе ионной имплантации?
Знать: современные тенденции развития микроэлектроники	1.Каковы преимущества легирования методом ионной имплантации? 2.Сравните возможности локального легирования методом диффузии и ионной имплантации 3.Каковы основные сдерживающие факторы уменьшения размера элемента ИС? 4.Каковы преимущества лазерного отжига?

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Технологические операции, применяемые при изготовлении изделий электронной техники.
2. Ионное легирование. Аппаратура.
3. Как создать структуру, показанную на рис. 1?

Процедура проведения

Проводится в устной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа. Время на подготовку ответа – 60 минут

I. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

1. Компетенция/Индикатор: ИД-2ПК-1 Демонстрирует знание соответствия технологии производства и процесса проектирования полупроводниковых приборов и структур

Вопросы, задания

1. Как создать структуру, показанную на рис. 2

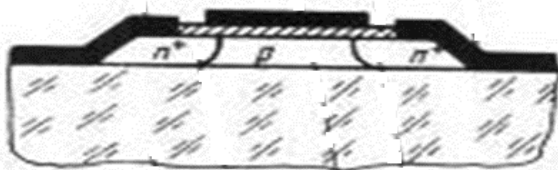
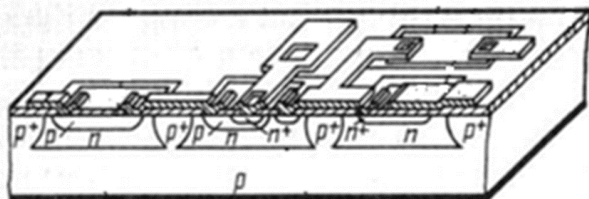


Figure 1 рис. 2

2. Толстопленочная технология
3. Получение пленок оксида и нитрида кремния плазмохимическим осаждением
4. Методы "сухого" травления. Селективность и анизотропия травления
5. Фотолитография. Волновые эффекты при экспонировании
6. Методы монтажа кристаллов, способы присоединения выводов
7. Методы изоляции элементов монолитных ИС
8. Как создать структуру, показанную на рис. 3



9. Методы группового монтажа выводов

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Каким методом можно получить пленку оксида кремния поверх алюминиевой металлизации?

Ответы:

пиролиз силана окисление в сухом кислороде окисление в парах воды плазмохимическое осаждение

Верный ответ: плазмохимическое осаждение

2. Каким методом лучше всего получать пленку оксида кремния для МДП-структур?

Ответы:

пиролиз силана окисление в сухом кислороде окисление в парах воды плазмохимическое осаждение

Верный ответ: окисление в сухом кислороде

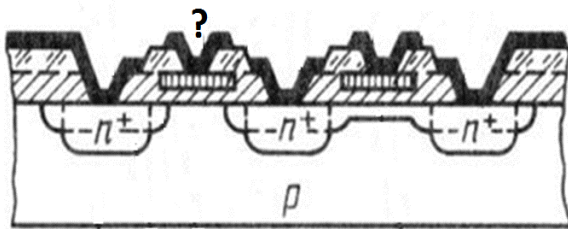
3. Каким методом можно получить эпитаксиальную пленку кремния на сапфире?

Ответы:

пиролиз силана окисление в сухом кислороде окисление в парах воды восстановление хлорсилана в водороде

Верный ответ: пиролиз силана

4. Знаком вопроса отмечен контакт

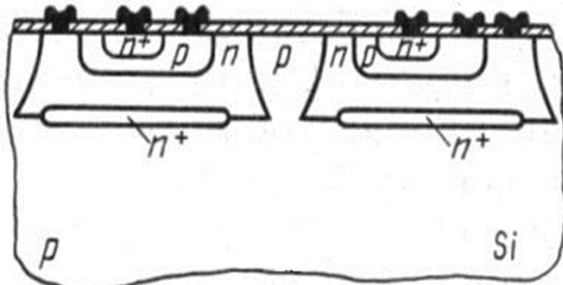


Ответы:

к затвору к стоку к истоку к коллектору

Верный ответ: к затвору

5. На рисунке показаны



Ответы:

n-канальные ПТУП р-канальные ПТУП биполярные n-p-n транзисторы биполярные p-n-p транзисторы

Верный ответ: биполярные n-p-n транзисторы

6. Основным фактором, ограничивающим возможности минимизации размера рисунка, полученного методом фотолитографии является

Ответы:

длина волны экспонирующего излучения возможность фокусировки луча размер фотошаблона рассеяние излучения в резисте

Верный ответ: длина волны экспонирующего излучения

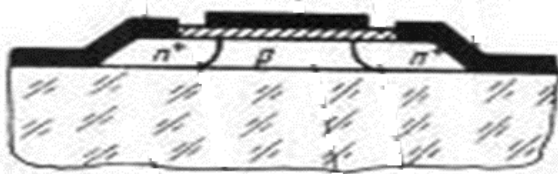
7. Основным фактором, ограничивающим возможности минимизации размера рисунка, полученного методом электронной литографии является

Ответы:

длина волны экспонирующего излучения рассеяние электронов в резисте размеры шаблона геометрические эффекты

Верный ответ: рассеяние электронов в резисте

8. На рисунке показан

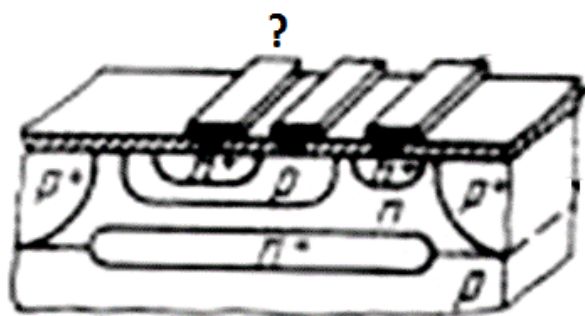


Ответы:

n-канальный МДП-транзистор с индуцированным каналом р-канальный МДП-транзистор с индуцированным каналом n-канальный МДП-транзистор со встроенным каналом р-канальный МДП-транзистор со встроенным каналом

Верный ответ: n-канальный МДП-транзистор с индуцированным каналом

9. **Знаком вопроса отмечен контакт**



Ответы:

к коллектору к эмиттеру к базе к стоку

Верный ответ: к эмиттеру

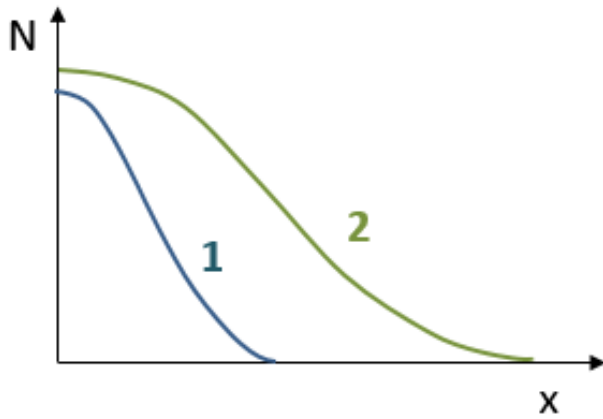
2. Компетенция/Индикатор: ИД-2ПК-2 Обладает знаниями о структуре и физико-химических свойствах материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники

Вопросы, задания

1. Выращивание кристаллов из расплавов
2. Условия роста эпитаксиальных пленок
3. Ионное легирование. Механизмы потерь энергии ионов
4. Основные механизмы и закономерности диффузии примесей в твердом теле
5. Зарождение и рост кристалла. Условия роста монокристалла
6. Выращивание кристаллов по методу Чохральского
7. Материалы для изготовления корпусов

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Профиль распределения примеси, полученный в результате диффузии из неограниченного источника, изменится с кривой 1 на кривую 2 в случае

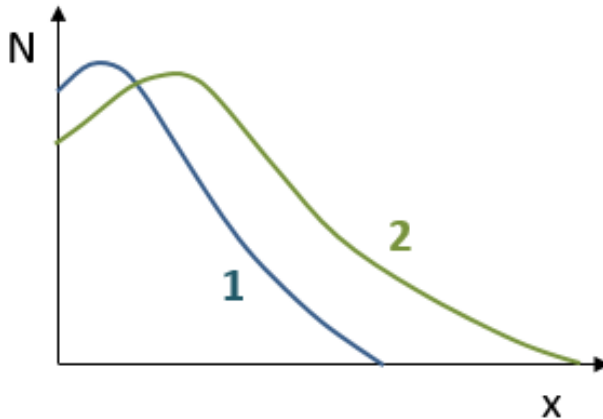


Ответы:

увеличения времени обработки уменьшения времени обработки увеличения температуры обработки уменьшения температуры обработки

Верный ответ: увеличения температуры обработки

2. Профиль распределения примеси, полученный в результате легирования методом ионной имплантации, изменится с кривой 1 на кривую 2 в случае



Ответы:

увеличения энергии ионов уменьшения энергии ионов увеличения температуры обработки уменьшения времени обработки

Верный ответ: увеличения энергии ионов

3. По сферическому шлифу измеряют

Ответы:

концентрацию легирующей примеси глубину р-n-перехода дозу введенной примеси

Верный ответ: глубину р-n-перехода

4. Дозу примеси, введенной методом ионной имплантации, измеряют с помощью

Ответы:

магнитного сепаратора интегратора заряда ловушки Фарадея

Верный ответ: интегратора заряда

5. При помощи оптического микроскопа нельзя определить

Ответы:

правильность совмещения слоев толщину слоя концентрацию легирующей примеси

Верный ответ: концентрацию легирующей примеси

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.