

**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:

1. ПК-1 Способен участвовать в проектировании полупроводниковых приборов  
ИД-2 Демонстрирует знание соответствия технологии производства и процесса проектирования полупроводниковых приборов и структур
2. 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

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

Форма реализации: Письменная работа

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

Форма реализации: Проверка задания

1. 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 <sub>ПК-1</sub> 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 <sub>ПК-2</sub> 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"><li>1.Какая функция точнее всего описывает профиль распределения примеси, полученный в результате легирования методом ионной имплантации?</li><li>2.Какая функция точнее всего описывает профиль распределения примеси, полученный в результате легирования методом диффузионного легирования из постоянного источника?</li><li>3.Какая функция точнее всего описывает профиль распределения примеси, полученный в результате легирования методом диффузионного легирования из ограниченного источника?</li><li>4.На каком рисунке показано изменение во времени профиля распределения примеси, получаемого в результате ионной имплантации без эффекта каналирования?</li><li>5.На каком рисунке показано изменение во времени профиля распределения примеси, получаемого в результате ионной имплантации с эффектом каналирования?</li></ol>
---	--

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

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

**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"><li>1. Рассчитать и построить профиль распределения примеси, полученный в результате диффузии из неограниченного источника примеси (подложка Si, диффузانت фосфор, <math>T=1200\text{ C}</math>, время диффузии 2 часа)</li><li>2. Рассчитать и построить профиль распределения примеси, полученный в результате диффузии из точечного источника примеси (подложка Si, диффузانت фосфор, доза <math>Q=10\ 15\ 1/\text{cm}^2</math>, <math>T=1200\text{ C}</math>, время диффузии 2 часа)</li><li>3. Рассчитать и построить профиль распределения примеси, полученный в результате ионной имплантации (подложка Si, легирование бором, энергия 90 кэВ, доза 70 мкКл/см<sup>2</sup>)</li><li>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/см<sup>2</sup>, время отжига 30 минут, <math>T=1100\text{ C}</math>)</li><li>5. Рассчитать и построить профиль распределения примеси, полученный в результате многостадийной диффузии примеси (подложка Si, диффузانت бор, <math>T=1200\text{ C}</math>, время загонки 30 минут, время разгонки 3 часа)</li></ol>
--	--

**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

### *1. 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

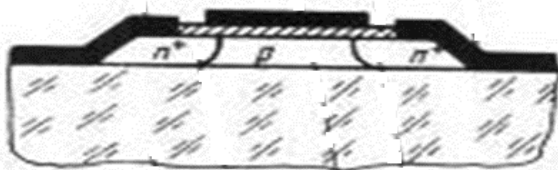
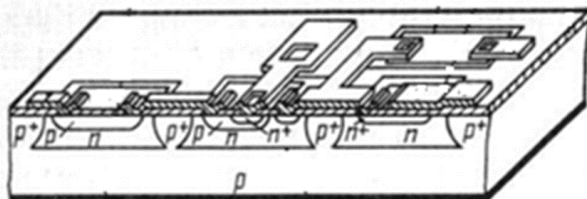


Figure 1 рис. 2

2. Толсто пленочная 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

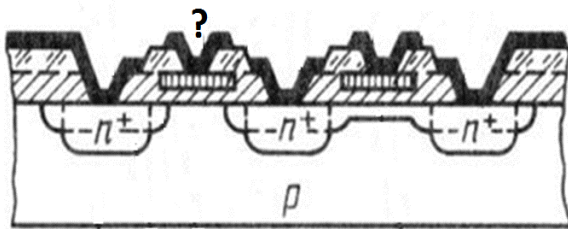
**3. Каким методом можно получить эпитаксиальную пленку кремния на сапфире?**

Ответы:

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

Верный ответ: пиролиз силана

**4. Знаком вопроса отмечен контакт**

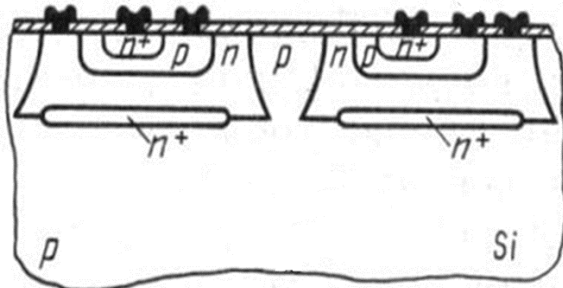


Ответы:

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

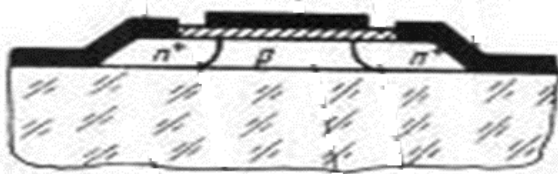
**7. Основным фактором, ограничивающим возможности минимизации размера рисунка, полученного методом электронной литографии является**

Ответы:

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

Верный ответ: рассеяние электронов в резисте

**8. На рисунке показан**

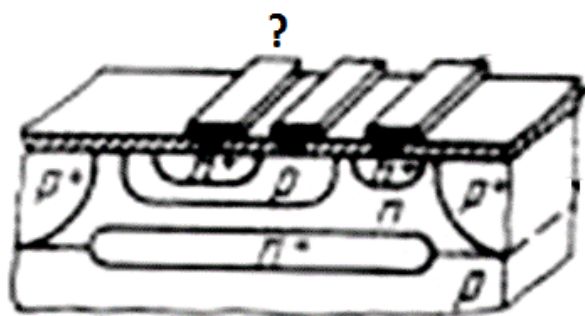


Ответы:

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

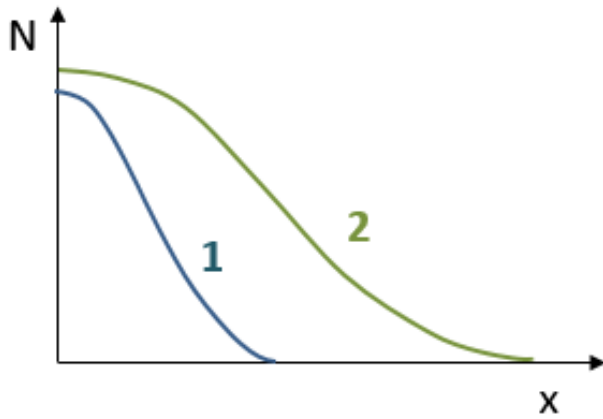
**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ЛК-2 Обладает знаниями о структуре и физико-химических свойствах материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники

### 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

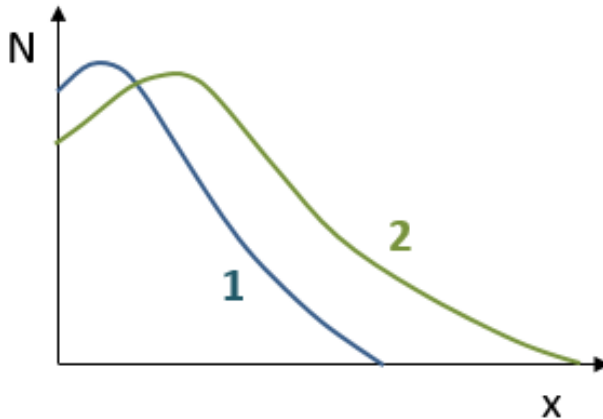


Ответы:

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 p-n-перехода дозу введенной примеси

Верный ответ: глубину p-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.