

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

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Методы диагностики наносистем и наноматериалов**

**Москва
2023**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дмитриев А.С.
	Идентификатор	R8d0ce031-DmitriyevAS-aaaaeae29

А.С.
Дмитриев

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дмитриев А.С.
	Идентификатор	R8d0ce031-DmitriyevAS-aaaaeae29

А.С.
Дмитриев

Заведующий
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Пузина Ю.Ю.
	Идентификатор	Re86e9a56-Puzina-4d2acad1

Ю.Ю.
Пузина

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-2 Способен применять расчетно-теоретические и экспериментальные методы исследования электромагнитных и теплофизических процессов в низкоразмерных устройствах и материалах

ИД-2 Знает особенности процессов в метрологических системах и системах диагностики наноразмерных материалов и устройств

2. РПК-2 Способен владеть расчетно-теоретическими и экспериментальными методами исследования теплогидравлических процессов в энергетическом оборудовании

ИД-1 Способен применять современную экспериментальную технику и методы в теплофизических исследованиях

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Защита задания

1. Диагностика и измерения электрофизических и тепловых свойств наноматериалов (Реферат)

Форма реализации: Письменная работа

1. Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий (Контрольная работа)

2. Способы диагностики и метрологии наноразмерных материалов и устройств (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств (Коллоквиум)

БРС дисциплины

3 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
	Срок КМ:	4	8	11	15
Основные понятия нанотехнологий					
Основные понятия нанотехнологий	+				
Наноконпоненты и наноматериалы, методы их диагностики					

Нанокomпоненты и наноматериалы, методы их диагностики	+			
Методы диагностики и тестирования наноматериалов				
Методы диагностики и тестирования наноматериалов		+		
Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий				
Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий		+		
Диагностика и измерения электрофизических и тепловых свойств наноматериалов				
Диагностика и измерения электрофизических и тепловых свойств наноматериалов			+	
Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств				
Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств				+
Вес КМ:	15	25	25	35

\$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-2	ИД-2ПК-2 Знает особенности процессов в метрологических системах и системах диагностики наноразмерных материалов и устройств	Знать: способы диагностики и метрологии наноразмерных материалов и устройств методы определения основных параметров наноразмерных систем и наноматериалов Уметь: проводить и обрабатывать измерения в наноразмерных материалах и наноустройствах	Способы диагностики и метрологии наноразмерных материалов и устройств (Контрольная работа) Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий (Контрольная работа) Диагностика и измерения электрофизических и тепловых свойств наноматериалов (Реферат)
РПК-2	ИД-1РПК-2 Способен применять современную экспериментальную технику и методы в теплофизических исследованиях	Уметь: уметь проводить научные эксперименты и тесты с нанотехнологическим оборудованием	Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств (Коллоквиум)

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Способы диагностики и метрологии наноразмерных материалов и устройств

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Письменный ответ на вопросы

Краткое содержание задания:

Контрольные вопросы по теме “Способы диагностики и метрологии наноразмерных материалов и устройств”

Контрольные вопросы/задания:

Знать: методы определения основных параметров наноразмерных систем и наноматериалов	<ol style="list-style-type: none">1. Принципы работы сканирующих зондовых микроскопов2. Сканирующие элементы зондовых микроскопов3. Методы защиты зондовых микроскопов от внешних воздействий4. Общие принципы работы атомно-силового микроскопа5. Зондовые датчики атомно-силовых микроскопов6. Виды и технологии изготовления зондовых датчиков АСМ7. Контактный и бесконтактный режимы АСМ8. Принцип работы СЭМ9. Виды детекторов в сканирующей электронной микроскопии10. Механизмы потерь энергии электронов в веществе. Основные источники сигналов в СЭМ11. Подготовка объектов для исследований СЭМ и особые требования к ним. Количественный анализ на микроанализаторе
---	--

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-2. Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Решение индивидуальных заданий по теме "Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий"

Краткое содержание задания:

Решить задачу по теме "Методы исследования наноструктурных поверхностей и покрытий"

Контрольные вопросы/задания:

Знать: способы диагностики и метрологии наноразмерных материалов и устройств	<ol style="list-style-type: none">1. Определить величину ускоряющего напряжения, начиная с которого разница длин волн с учетом и без учета релятивистской поправки будет составлять X процентов.2. Определить коротковолновую границу тормозного спектра рентгеновского излучения для ускоряющего напряжения X кВ.3. Какое предельное разрешение можно получить на электронном микроскопе с ускоряющим напряжением X кВ, если все ошибки за исключением дифракционной равны нулю. Угловая апертура объективной линзы равна Y рад.4. Определить длину волны электронов с учетом релятивистских поправок и без них в электронном микроскопе с ускоряющими напряжениями X кВ, Y кВ. Какую ошибку вносит отсутствие релятивистских поправок.5. Какое оптимальное разрешение можно получить на электронном микроскопе с ускоряющим напряжением X кВ, если учесть дифракционную ошибку и сферическую абберацию. Угловая апертура объективной линзы Y рад. Коэффициент сферической абберации Z мм.6. Вычислите угловую апертуру объективной линзы для электронного микроскопа с ускоряющим напряжением X кВ и предельным разрешением Y Å если все ошибки за исключением дифракционной равны нулю.
--	--

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-3. Диагностика и измерения электрофизических и тепловых свойств наноматериалов

Формы реализации: Защита задания

Тип контрольного мероприятия: Реферат

Вес контрольного мероприятия в БРС: 25

Процедура проведения контрольного мероприятия: Подготовка реферата по выбранной теме и его защита на занятии

Краткое содержание задания:

Подготовить реферат по одной из тем

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: проводить и обрабатывать измерения в наноразмерных материалах и наноустройствах	1.Электрохимические свойства наноматериалов 2.Электрические свойства наноматериалов 3.Теплофизические свойства наноматериалов. 4.Оптические методы и техника изучения динамики электронных возбуждений в наноструктурах 5.Ближнепольная оптическая спектроскопия наноструктур 6.Методы люминесцентной микроскопии 7.Оптическая спектроскопия квантовых наноструктур. Абсорбционные методы. Фотолюминесценция 8.Вольтамперометрия и полярография. Потенциометрия
--	--

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме и студент хорошо ориентируется в области тематики реферата

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто, но допущены неточности и студент не до конца разобрался в тематике реферата

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено, но знания материала поверхностные

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

КМ-4. Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств

Формы реализации: Устная форма

Тип контрольного мероприятия: Коллоквиум

Вес контрольного мероприятия в БРС: 35

Процедура проведения контрольного мероприятия: Устный ответ на вопросы по билету

Краткое содержание задания:

Ответить на вопросы по теме "Методы сертификации и контроля наноматериалов и диагностики их функциональных свойств"

Контрольные вопросы/задания:

Уметь: уметь проводить научные эксперименты и тесты с нанотехнологическим оборудованием	<ol style="list-style-type: none">1.Порометрия и определение истинной поверхности2.Оптический контроль (профилометрия, флуоресценция, эллипсометрия, конфокальная микроскопия)3.Контроль физических свойств (резистометрия, магнитные измерения)4.Тестирование функциональных свойств и их стабильности (указать: каталитических, деградационных, механических, трибологических, биологической активности и т.п.)5.Аналитические методы (в том числе анализ поверхности)
---	--

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

3 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Какое оптимальное разрешение можно получить на электронном микроскопе с ускоряющим напряжением 300 кВ, если учесть дифракционную ошибку и сферическую aberrацию. Угловая апертура объективной линзы $\approx 7 \times 10^{-3}$ рад. Коэффициент сферической aberrации $C_s = 0,19$ мм.
2. Магнитный резонанс. Нанотестирование.

Процедура проведения

Студент получает билет и готовится к ответу 60 минут, далее устный ответ по билету и на дополнительный вопрос 15 мин.

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-2_{ПК-2} Знает особенности процессов в метрологических системах и системах диагностики наноразмерных материалов и устройств

Вопросы, задания

- 1.1. Какое оптимальное разрешение можно получить на электронном микроскопе с ускоряющим напряжением 300 кВ, если учесть дифракционную ошибку и сферическую aberrацию. Угловая апертура объективной линзы $\approx 7 \times 10^{-3}$ рад. Коэффициент сферической aberrации $C_s = 0,19$ мм.
2. Магнитный резонанс. Нанотестирование.
 - 2.1. Какое оптимальное разрешение можно получить на электронном микроскопе с ускоряющим напряжением 300 кВ, если учесть дифракционную ошибку и сферическую aberrацию. Угловая апертура объективной линзы $\approx 5 \times 10^{-3}$ рад. Коэффициент сферической aberrации $C_s = 0,23$ мм.
2. Методы защиты зондовых микроскопов от внешних воздействий.
 - 3.1. Какое оптимальное разрешение можно получить на электронном микроскопе с ускоряющим напряжением 500 кВ, если учесть дифракционную ошибку и сферическую aberrацию. Угловая апертура объективной линзы $\approx 7 \times 10^{-3}$ рад. Коэффициент сферической aberrации $C_s = 0,23$ мм.
2. Нанолитография.
 - 4.1. Какое предельное разрешение можно получить на электронном микроскопе с ускоряющим напряжением 300 кВ, если все ошибки за исключением дифракционной равны нулю. Угловая апертура объективной линзы $\approx 6 \times 10^{-3}$ рад.
2. Прочность и пластичность наноматериалов.
 - 5.1. Какое предельное разрешение можно получить на электронном микроскопе с ускоряющим напряжением 300 кВ, если все ошибки за исключением дифракционной равны нулю. Угловая апертура объективной линзы $\approx 9 \times 10^{-3}$ рад.

2. Техника контроля параметров сверхкоротких импульсов и измерения отклика исследуемых систем.

6.1. Какое предельное разрешение можно получить на электронном микроскопе с ускоряющим напряжением 500 кВ, если все ошибки за исключением дифракционной равны нулю. Угловая апертура объективной линзы $\approx 9 \times 10^{-3}$ рад.

2. Поверхностные эффекты в наноматериалах.

7.1. Определить длину волны электронов с учетом релятивистских поправок и без них в электронном микроскопе с ускоряющими напряжениями 100 кВ, 300 кВ. Какую ошибку вносит отсутствие релятивистских поправок.

2. Твердость наноматериалов. Реакционная способность наноматериалов.

8.1. Определить длину волны электронов с учетом релятивистских поправок и без них в электронном микроскопе с ускоряющими напряжениями 150 кВ, 350 кВ. Какую ошибку вносит отсутствие релятивистских поправок.

2. Магнитные свойства наноструктур. Суперпарамагнетизм. Магнитное квантовое туннелирование.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Выберите требуемые пункты подготовки образцов в сканирующей электронной микроскопии

Ответы:

-полировка поверхности;

-специальная подготовка, чтобы образец выдерживал условия высокого вакуума;

-исследовать можно только электрически проводящие образцы;

-образцы должны быть электрически проводящими с токопроводящим монтажом на заглушку;

-исследовать можно только диэлектрики;

-образцы должны быть полупроводниками с определенной характеристиками сканирующего электронного микроскопа шириной запрещенной зоны;

-образцы должны быть диэлектриками с напылением ультратонкого покрытия из электропроводящего материала;

Верный ответ: -специальная подготовка, чтобы образец выдерживал условия высокого вакуума; -образцы должны быть электрически проводящими с токопроводящим монтажом на заглушку; -образцы должны быть диэлектриками с напылением ультратонкого покрытия из электропроводящего материала;

2. Перечислите недостатки пьезокерамических сканирующих элементов зондовых микроскопов

Верный ответ: -нелинейность пьезоэлектрических свойств; -запаздывание реакции на изменение величины управляющего электрического поля; -неоднозначность зависимости удлинения от направления изменения электрического поля (гистерезис);

3. Принцип работы сканирующей оптической микроскопии ближнего поля

Верный ответ: На очень малых расстояниях от поверхности в области ближнего поля возникают световые волны, обусловленные полным отражением от облучаемой поверхности. Интенсивность такого излучения ближнего поля резко уменьшается при увеличении расстояния от поверхности. Данное излучение можно рассматривать и регистрировать как независимый отраженный луч, используя, например, собирающую линзу и фотоэлектронный умножитель.

4. Основные направления применения дисперсионной Рамановской спектроскопии

Верный ответ: Основные применения Раман спектроскопии с лазерами в видимой области – полупроводники и электроника, где исследуются кремний и различные покрытия на кремниевых пластинах, в фармацевтических и биохимических исследованиях. Дисперсионный Раман часто является очень мощным инструментом для исследования темных образцов, таких как углерод или сильно окрашенные образцы, для неорганического анализа и идентификации в геологии и геммологии, многослойные полимерные ламинаты, многослойные краски и другие образцы, которые необходимо проанализировать по глубине.

5. Перечислите основные магнитные свойства нанокластеров и наноструктур

Верный ответ: Суперпарамагнетизм проявляется при размерах магнитных кластеров 1-10 нм; Магнитная однодоменность нанокластеров и наноструктур до 20 нм; Магнитное квантовое туннелирование, при котором намагниченность меняется скачками; Гигантское магнетосопротивление; Магнитные фазовые переходы первого рода: Магнитное упорядочение в наносистеме исчезает скачком и наносистема переходит в парамагнитное состояние, минуя суперпарамагнитное состояние магнитного упорядочения ниже точки Кюри;

6. По какой формуле рассчитывается общее электросопротивление наноматериала

Верный ответ: $\rho_{\Sigma} = \rho_0 + \rho(\text{г.м.})(\square/\square)$ где ρ_0 – электросопротивление монокристаллического материала с заданным содержанием примесей и дефектов; \square – площадь межзеренных границ; \square – объем.

7. Нанопорошки каких материалов получают методом криохимического синтеза

Ответы:

Cu
Ag
Pb
Mo
Mg
Ni
Cd
Fe

Верный ответ: Ag, Pb, Mg, Cd

8. Какие процессы происходят на растущей поверхности при молекулярно-лучевой эпитаксии

Ответы:

Адсорбция;
Адгезия;
Поверхностная диффузия;
Перестраивание атомов кристаллической решетки
Встраивание в кристаллическую решетку адсорбированных атомов основного вещества;
Десорбция;

Верный ответ: Адсорбция; Поверхностная диффузия; Встраивание в кристаллическую решетку адсорбированных атомов основного вещества;
Десорбция;

9. Определить коротковолновую границу тормозного спектра рентгеновского излучения для ускоряющего напряжения 40 кВ.

Ответы:

0.31 Å
0.35 Å
0.33 Å
0.27 Å

Верный ответ: 0.31 Å

10. Найти теоретическое удельное электросопротивление изучаемой плёнки алюминия толщиной 15 нм. Значения длины свободного пробега электронов при температуре 300 К принять 16.4 нм.

Ответы:

$$0.051 \text{ Ом} \cdot \frac{\text{мм}}{\text{м}}$$

$$0.038 \text{ Ом} \cdot \frac{\text{мм}}{\text{м}}$$

$$0.068 \text{ Ом} \cdot \frac{\text{мм}}{\text{м}}$$

$$0.018 \text{ Ом} \cdot \frac{\text{мм}}{\text{м}}$$

Верный ответ: $0.038 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$

2. Компетенция/Индикатор: ИД-1_{РПК-2} Способен применять современную экспериментальную технику и методы в теплофизических исследованиях

Вопросы, задания

1.1. Какое оптимальное разрешение можно получить на электронном микроскопе с ускоряющим напряжением 500 кВ, если учесть дифракционную ошибку и сферическую aberrацию. Угловая апертура объективной линзы $\approx 5 \times 10^{-3}$ рад. Коэффициент сферической aberrации $C_s = 0,19 \text{ мм}$.

2. Сканирующие элементы зондовых микроскопов.

2.1. Какое предельное разрешение можно получить на электронном микроскопе с ускоряющим напряжением 200 кВ, если все ошибки за исключением дифракционной равны нулю. Угловая апертура объективной линзы $\approx 9 \times 10^{-3}$ рад.

2. Порошковые технологии, высокоэнергетическое измельчение.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Перечислите основные источники сигналов сканирующей электронной микроскопии
Верный ответ: -Отраженные электроны -Вторичные электроны -Рентгеновское излучение -Оже-электроны -Катодолуминесценция -Наведенный ток

2. Кантилеверы используемые в АСМ, должны удовлетворять следующим критериям:

Ответы:

- низкий коэффициент нормальной упругости;
- высокий коэффициент нормальной упругости;
- низкая резонансная частота;
- высокая резонансная частота;
- низкий коэффициент латеральной упругости;
- высокий коэффициент латеральной упругости;
- высокая добротность кантилевера;
- острый конец иглы;
- тупой конец иглы;
- малая длина кантилевера;
- большая длина кантилевера;
- наличие дополнительных компонентов для определения изгиба кантилевера;

Верный ответ: -низкий коэффициент нормальной упругости; -высокая резонансная частота; -высокий коэффициент латеральной упругости; -высокая добротность кантилевера; -острый конец иглы; -малая длина кантилевера; -наличие дополнительных компонентов для определения изгиба кантилевера;

3. Технология изготовления зондовых датчиков АСМ

Ответы:

- проводится травление кремния, в результате которого получаются столбики кремния под островками фоторезиста;
 - проводится термический отжиг пластины;
 - с помощью плазменного травления из столбиков кремния формируются иглы;
 - пластина кремния протравливается насквозь до стоп-слоя с помощью селективного травителя;
 - проводится имплантация ионов бора, так что ионы проникают на глубину порядка 10 мкм в область кремния, не защищенную фоторезистом;
 - фоторезист экспонируется через фотошаблон, и часть фоторезиста удаляется посредством химического травления;
 - пластина покрывается тонким слоем Si₃N₄;
 - фоторезист смывается в специальном травителе;
 - проводится селективное травление фоторезиста;
 - на обратной стороне пластины проводится фотолитография, в результате которой формируется слой фоторезиста точно над областью, имплантированной бором;
 - Si₃N₄ смывается, и на обратной стороне пластины в легированной области методом фотолитографии формируются островки из фоторезиста;
 - на поверхность пластины осаждается тонкий слой фоторезиста;
- Верный ответ: 1) на поверхность пластины осаждается тонкий слой фоторезиста; 2) фоторезист экспонируется через фотошаблон, и часть фоторезиста удаляется посредством химического травления; 3) проводится имплантация ионов бора, так что ионы проникают на глубину порядка 10 мкм в область кремния, не защищенную фоторезистом; 4) фоторезист смывается в специальном травителе; 5) проводится термический отжиг пластины; 6) на обратной стороне пластины проводится фотолитография, в результате которой формируется слой фоторезиста точно над областью, имплантированной бором; 7) пластина покрывается тонким слоем Si₃N₄; 8) проводится селективное травление фоторезиста; 9) пластина кремния протравливается насквозь до стоп-слоя с помощью селективного травителя; 10) Si₃N₄ смывается, и на обратной стороне пластины в легированной области методом фотолитографии формируются островки из фоторезиста; 11) проводится травление кремния, в результате которого получаются столбики кремния под островками фоторезиста; 12) с помощью плазменного травления из столбиков кремния формируются иглы;

4.Перечислите варианты высокоэнергетических физических методов получения порошков

Верный ответ: Измельчение Детонационная обработка Электрический взрыв

5.Какое оптимальное разрешение можно получить на электронном микроскопе с ускоряющим напряжением 100 кВ, если учесть дифракционную ошибку и сферическую aberrацию. Угловая апертура объективной линзы $\approx 6 \times 10$ рад. Коэффициент сферической aberrации $C_s=0,17$ мм.

Ответы:

3.94 Å

4.31 Å

4.41 Å

4.07 Å

Верный ответ: 4.41 Å

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

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

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

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.