

**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: Твердотельная микро- и нанoeлектроника**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Современные методы исследования поверхности полупроводников**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Баринов А.Д.
	Идентификатор	Ra98e1318-BarinovAD-f138ec4f

А.Д. Баринов

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Баринов А.Д.
	Идентификатор	Ra98e1318-BarinovAD-f138ec4f

А.Д. Баринов

Заведующий  
выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мирошникова И.Н.
	Идентификатор	Rd1db27a5-MiroshnikovaIN-70caf8

И.Н.  
Мирошникова

## 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. ОПК-1 Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора

ИД-1 Знает тенденции и перспективы развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники

2. ПК-1 Способен участвовать в проектировании полупроводниковых приборов и / или интегральных схем

ИД-1 Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов в соответствующих областях электроники

ИД-2 Демонстрирует знание методов контроля производства и исследования полупроводниковых структур

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации:

1. Расчётное задание по теме "Рентгеноспектральный микроанализ" (Расчётно-графическая работа)

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Контрольная работа по теме: «Ионная спектроскопия» (Контрольная работа)

2. Контрольная работа по теме: «Электронная спектроскопия» (Контрольная работа)

3. Опрос по теме "Перспективные методы исследования" (Проверочная работа)

4. Опрос по теме "Проблемы физики поверхности" (Проверочная работа)

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Расчётное задание по теме "Резерфордское обратное рассеяние" (Расчётно-графическая работа)

## БРС дисциплины

3 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %						
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
	Срок КМ:	2	6	8	12	15	15
Фундаментальные и прикладные проблемы физики поверхности твёрдого тела							
Поверхность		+					

Вакуум	+					
Классификация аналитических методов исследования поверхности	+					
Ионная спектроскопия						
Методы ионной спектроскопии		+	+			
Масс-спектроскопия вторичных ионов		+	+			
Электронная и рентгеновская спектроскопии						
Методы электронной спектроскопии				+	+	
Методы рентгеновской спектроскопии				+	+	
Перспективные методы анализа. Сравнительный анализ методов						
Перспективные методы анализа						+
Вес КМ:	5	25	20	25	20	5

\$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
ОПК-1	ИД-1 <sub>ОПК-1</sub> Знает тенденции и перспективы развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники	Знать: перспективные методы исследования	Опрос по теме "Перспективные методы исследования" (Проверочная работа)
ПК-1	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов в соответствующих областях электроники		
ПК-1	ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание методов контроля производства и исследования полупроводниковых структур	Знать: физические основы и аппаратную реализацию ионных методов исследования поверхности полупроводников и тонких плёнок физические основы и аппаратную реализацию электронных и	Опрос по теме "Проблемы физики поверхности" (Проверочная работа) Контрольная работа по теме: «Ионная спектроскопия» (Контрольная работа) Расчётное задание по теме "Резерфордское обратное рассеяние" (Расчетно-графическая работа) Контрольная работа по теме: «Электронная спектроскопия» (Контрольная работа) Расчётное задание по теме "Рентгеноспектральный микроанализ" (Расчетно-графическая работа)

		<p>рентгеновских методов исследования поверхности полупроводников и тонких плёнок проблемы физики поверхности Уметь: проводить анализ и расчёт параметров для ионной спектроскопии проводить анализ и расчёт параметров для электронной и рентгеновской спектроскопий</p>	
--	--	---	--

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Опрос по теме "Проблемы физики поверхности"

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Проверочная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 5

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** В билете несколько вопросов, на которые студенту требуется ответить. Время проведения работы - 45 минут

**Краткое содержание задания:**

Ответьте на вопросы

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: проблемы физики поверхности	1.Какие проблемы физики поверхности Вы можете привести в качестве примера в области оптоэлектроники? 2.Какие проблемы физики поверхности Вы можете привести в качестве примера в области газовой сенсорики? 3.Почему исследование поверхности в основном проводят в сверхвысоком вакууме?
------------------------------------	---

**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. Контрольная работа по теме: «Ионная спектроскопия»

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** В билете 4 вопроса: три теоретических и один практический. Теоретическую часть студент пишет на бумаге, а практическую решает с использованием компьютера

### Краткое содержание задания:

Ответьте на вопросы билета

### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: физические основы и аппаратную реализацию ионных методов исследования поверхности полупроводников и тонких плёнок</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. <i>Дифференциальным сечением рассеяния</i> называют ... . Чем оно отличается от <i>полного сечения рассеяния</i>?</li><li>2. Почему чувствительность к тяжёлым элементам в спектроскопии ионного рассеяния выше, чем к лёгким?</li><li>3. Поясните принцип работы квадрупольного масс-анализатора.</li><li>4. Что называют явлением <i>затенения</i> и «<i>конусом тени</i>» в спектроскопии ионного рассеяния?</li><li>5. Чем обусловлена поверхностная чувствительность в спектроскопии рассеяния медленных ионов (СРМИ)?</li><li>6. Поясните принцип работы время-пролётного масс-анализатора.</li><li>7. Поясните принцип работы электростатического анализатора.</li><li>8. Почему количественный анализ в методе вторичной ионной масс-спектрометрии (ВИМС) затруднителен?</li><li>9. <i>Прицельным параметром</i> называют ... . Угол рассеяния будет выше у частицы, летящей с большим или меньшим прицельным параметром? Поясните ответ.</li><li>10. Поясните принцип работы магнитного масс-анализатора.</li><li>11. С чем связано наличие ограничения применения формулы Резерфорда для сечения рассеяния при низких и высоких энергиях?</li><li>12. Что называют «<i>каналированием</i>»?</li></ol>
<p>Уметь: проводить анализ и расчёт параметров для ионной спектроскопии</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Оцените минимальное поверхностное содержание бора (атом/см<sup>2</sup>) в монокристаллическом кремнии, определяемое методом резерфордовского обратного рассеяния (РОР), которое может быть обнаружено с помощью детектора площадью 1 см<sup>2</sup>, расположенного под углом рассеяния 170° на расстоянии 5 см от мишени. Считать, что порог регистрации составляет 100 событий в час (ионов в час); величина тока ионов 4He<sup>+</sup> с энергией 1,5 МэВ равна 10 мкА (плотность тока 10 мА/см<sup>2</sup>). Сравните полученный результат с плотностью атомов монослоя (порядка 10<sup>15</sup> атом/см<sup>2</sup>) – во сколько раз больше или меньше. <i>Обратите внимание: длительность проведения эксперимента неизвестна. Для удобства рекомендуется изобразить схему эксперимента.</i></li><li>2. На ситалловую подложку нанесли плёнку аморфного кремния <i>a-Si</i> толщиной 0,5 мкм. Поверхность плёнки бомбардируют ионами 16O<sup>+</sup> и</li></ol>

	<p>40Ar+ с энергией 50 кэВ. Достигнут ли ионы подложки? Плотность аморфного кремния принять равной 2,33 г/см<sup>3</sup>. Для удобства рекомендуется изобразить схему эксперимента.</p> <p>3. Оцените скорость потерь энергии [эВ/Å] и сечение торможения <math>\epsilon</math> [эВ·см<sup>2</sup>/(1015 ат)] для ионов 4He+ с энергией 1 МэВ в соединении SiGe, нанесённом на кремниевую подложку. Какую энергию будут иметь обратно рассеянные от атомов поверхности подложки ионы при толщине плёнки 0,1 мкм (угол рассеяния 170°)? Плотность мишени принять равной 3,83 г/см<sup>3</sup>. Для удобства рекомендуется изобразить схему эксперимента.</p> <p>4. Поверхность антимонида индия InAs бомбардируют ионами аргона 40Ar+ с энергией 3 кэВ при плотности тока 7 мкА/см<sup>2</sup>. Время травления составляет 5 минут. Определите толщину протравленного слоя. Энергию связи атомов с поверхностью принять равной 3 эВ. Плотность InAs принять равной 5,8 г/см<sup>3</sup>, молярную массу – 236,6 г/моль. Поправочный множитель <math>\alpha</math> принять равным 0,25. При расчёте коэффициента <math>S_n</math> рекомендуется использовать усреднённые массы и заряды для параметров мишени. Для удобства рекомендуется изобразить схему эксперимента.</p>
--	--

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

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

*Оценка: 4*

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

*Оценка: 3*

*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. Расчётное задание по теме "Резерфордовское обратное рассеяние"

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Задание выполняется на компьютере

#### Краткое содержание задания:

Ионы гелия 4He+ с энергией 2 МэВ бомбардируют поверхность плёнки толщиной  $t$ , мкм, покрытой с обеих сторон монослоем металла (наличием подложки пренебречь).

*Выполнить:*

1. Постройте кривые зависимости сечения торможения от энергии иона для каждого из элементов плёнки, а также для материала самой плёнки на одном графике в диапазоне энергий от 0,5 до 3 МэВ.
2. Постройте спектр обратного рассеяния, укажите особенности спектра (начало, конец, высоту и ширину).

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: проводить анализ и расчёт параметров для ионной спектроскопии	1.Постройте спектр обратного рассеяния
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

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

*Оценка: 4*

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

*Оценка: 3*

*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-4. Контрольная работа по теме: «Электронная спектроскопия»**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 25

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** В билете 4 вопроса: три теоретических и один практический. Теоретическую часть студент пишет на бумаге, а практическую решает с использованием компьютера

**Краткое содержание задания:**

Ответьте на вопросы билета

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: физические основы и аппаратную реализацию электронных и рентгеновских методов исследования поверхности полупроводников и тонких плёнок	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Электронный пучок с энергией <math>E_0</math> взаимодействует с поверхностью твёрдого тела. Как выглядит энергетический спектр электронов, образовавшихся в результате взаимодействия? Нарисуйте его и поясните. (10 баллов)</li> <li>2.С чем связано повышенное разрешение электронного микроскопа по сравнению с оптическим микроскопом? (15 баллов)</li> <li>3.Поясните, по какой причине Оже-электронная спектроскопия обладает поверхностной чувствительностью и чувствительностью к лёгким элементам? (25 баллов)</li> <li>4.Поясните, с какой целью в Оже-электронной</li> </ol>
---	--

	<p>спектроскопии проводят дифференцирование спектра? (15 баллов)</p> <p>5.Поясните, по какой причине рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия обладает поверхностной чувствительностью? (25 баллов)</p> <p>6.Какие Оже-переходы называют <i>переходами Костера-Кронига</i>? С чем связано увеличение ширины их спектральной линии по сравнению с обычными ССС Оже-переходами? Поясните, что такое <i>ССС Оже-переход</i>? (15 баллов)</p> <p>7.Поясните, чем определяется форма Оже- и фотоэлектронного спектров при исследовании валентной зоны полупроводникового соединения? Какую информацию и почему можно получить, проводя это исследование? (25 баллов)</p> <p>8.Нарисуйте схематически и поясните принцип работы детектора вторичных электронов типа Эверхарта-Торнли. (15 баллов)</p> <p>9.С чем связано затруднение при количественном анализе лёгких элементов методом рентгеноспектрального микроанализа? (25 баллов)</p>
<p>Уметь: проводить анализ и расчёт параметров для электронной и рентгеновской спектроскопий</p>	<p>1.Элементный состав диэлектрической мишени SixNy исследуют методом рентгеноспектрального микроанализа. Для этого поверхность облучают электронным пучком с энергией 5 кэВ и интенсивностью <math>I_0</math>. Детектор располагается под углом <math>45^\circ</math> к поверхности мишени. Для минимизации эффекта зарядки на поверхность напылили слой Al толщиной 10 нм. Определите, во сколько раз изменилась после напыления интенсивность рентгеновской линии <math>SiK\alpha</math>? (50 баллов)</p> <p>2.Методом рентгеноспектрального микроанализа исследуют элементный состав плёнки SixGe1-x, Определите параметр <math>x</math> и запишите химическую формулу материала плёнки, если отношение интенсивностей линий <math>SiK\alpha</math> и <math>GeK\alpha</math> составляет 1:44. Указание: долю регистрируемых квантов считать одинаковой для обоих элементов, пренебречь поглощением рентгеновского излучения в окне детектора. (50 баллов)</p> <p>3.Определите, возможны ли переходы <math>KL1L3</math> для He, Li, C, O, Si, W при облучении их электронным пучком с энергией 2 кэВ? Поясните ответ. (50 баллов)</p> <p>4.Какова величина средней длины свободного пробега электрона с энергией 200 эВ и 2000 эВ в плёнке Au? Определите, при какой толщине плёнки интенсивность прошедших электронов уменьшится в 10 раз по отношению к падающим. Указание: считать, что энергию электрон теряет только на возбуждение плазмонов. (50 баллов)</p>

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 95

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 2

Описание характеристики выполнения знания: Студент не набрал необходимого количества баллов

### КМ-5. Расчётное задание по теме "Рентгеноспектральный микроанализ"

**Формы реализации:**

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Задание выполняется на компьютере

**Краткое содержание задания:**

Проводится рентгеноспектральный анализ мишени бинарного соединения  $AnBm$ .

1. Подобрать энергию пучка электронов исходя из величины перенапряжения для K-, L- или M-уровня тяжёлого элемента, но не более 20 кэВ.

2. Рассчитать массовый коэффициент поглощения.

3. Оценить глубину генерации рентгеновского излучения.

4. Рассчитать k-отношение и отношение интенсивностей рентгеновских линий каждого элемента.

5 (доп.). Для каждого элемента мишени построить графики зависимости массового коэффициента поглощения от энергии рентгеновского излучения в диапазоне от 1 до 30 кэВ.

**Контрольные вопросы/задания:**

Уметь: проводить анализ и расчёт параметров для электронной и рентгеновской спектроскопий	1. Определите параметры рентгеноспектрального микроанализа
---	--

**Описание шкалы оценивания:**

Оценка: 5

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

Оценка: 4

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

Оценка: 3

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-6. Опрос по теме "Перспективные методы исследования"**

**Формы реализации:** Билеты (письменный опрос)

**Тип контрольного мероприятия:** Проверочная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 5

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** В билете несколько вопросов, на которые студенту требуется ответить. Время проведения работы - 45 минут

**Краткое содержание задания:**

Ответьте на вопросы

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: перспективные методы исследования	1.Какую информацию можно получить при исследовании атомно-силовой микроскопией? 2.Какую информацию можно получить при исследовании сканирующей туннельной микроскопией? 3.Какую информацию можно получить при исследовании спектроскопией характеристических потерь энергии электронами?
--	--

**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:** Зачет с оценкой

### Пример билета

В плёнку аморфного углерода  $a$ -C вводится молибден Mo. Известно, что этот переходный металл образует два карбида: **MoC** и **Mo<sub>2</sub>C**. У Вас есть возможность исследования плёнки методами резерфордовского обратного рассеяния (РОР), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и рентгеноспектрального микроанализа (РСМА). Каким из этих методов исследования Вы можете установить наличие в плёнке вида карбида молибдена (определить химическое состояние молибдена) и почему?

### Процедура проведения

Задание выполняется не более 20 мин. После подготовки происходит беседа с оцениванием аргументации решения задания.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>ОПК-1</sub> Знает тенденции и перспективы развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники

### Вопросы, задания

1. В плёнку аморфного углерода  $a$ -C вводится молибден Mo. Известно, что этот переходный металл образует два карбида: **MoC** и **Mo<sub>2</sub>C**. У Вас есть возможность исследования плёнки методами резерфордовского обратного рассеяния (РОР), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и рентгеноспектрального микроанализа (РСМА). Каким из этих методов исследования Вы можете установить наличие в плёнке вида карбида молибдена (определить химическое состояние молибдена) и почему?

2. На поверхности серебра при температуре 300 К на воздухе происходит адсорбция атомов кислорода. Перед Вами стоит задача определения механизма роста слоя адсорбата (как атомы кислорода взаимодействуют с атомами серебра на поверхности, какие химические связи образуют и пр.). Каким из предложенных методов исследования Вы воспользуетесь: ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия (УФЭС), резерфордовское обратное рассеяние (РОР) или рентгеноспектральный микроанализ (РСМА)? Почему?

3. Плёнка аморфного углерода  $a$ -C гидрогенизируется ( $a$ -C:H). У Вас есть возможность исследования плёнки методами вторичной ионной масс-спектрометрии (ВИМС), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и рентгеноспектрального микроанализа (РСМА). Каким из этих методов исследования Вы можете установить наличие и концентрацию атомов водорода в плёнке и почему?

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Метод резерфордовского обратного рассеяния может дать информацию о ...

Ответы:

элементном составе  
химическом составе

Верный ответ: элементном составе

2. Информацию о химическом составе на основе химического сдвига может дать ...

Ответы:

спектроскопия Резерфордского обратного рассеяния

дифракция быстрых электронов

рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия

Верный ответ: рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия

3. Информацию о структуре материала (аморфный, поликристаллический или монокристаллический) может дать ...

Ответы:

же-электронная спектроскопия

дифракция электронов

вторичная ионная масс-спектрометрия

Верный ответ: дифракция электронов

4. Фотоэлектроном называют вылетевший с энергетического уровня в результате ...

Ответы:

ударной ионизации

взаимодействия с электромагнитным излучением

Верный ответ: взаимодействия с электромагнитным излучением

**2. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-1 Демонстрирует знание методов контроля производства и исследования полупроводниковых структур

### Вопросы, задания

1. Перед Вами стоит задача определения кристаллической структуры материала: монокристалл, поликристалл или аморфный. Есть возможность использовать спектроскопию рассеяния медленных ионов (СРМИ), дифракцию медленных электронов (ДМЭ) или рентгеновскую фотоэлектронную спектроскопию (РФЭС). Каким методом Вы воспользуетесь и почему?

2. В плёнку аморфного углерода  $a$ -C вводится хром Cr. Известно, что этот металл образует несколько карбидов:  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ,  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  и  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ . У Вас есть возможность исследования плёнки методами Резерфордского обратного рассеяния (РОР), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и рентгеноспектрального микроанализа (РСМА). Каким из этих методов исследования Вы можете установить наличие в плёнке того или иного вида карбида хрома (определить химические связи) и почему?

3. При создании фотоприёмников на основе селенида свинца  $\text{PbSe}$  фоточувствительный слой отжигается в атмосфере йода и кислорода  $\text{I}_2 + \text{O}_2$ . Перед Вами стоит задача определения вхождения йода в структуру материала (образование химических связей). Вы можете использовать рентгеновскую фотоэлектронную спектроскопию (РФЭС), дифракцию быстрых электронов (ДБЭ) или вторичную ионную масс-спектрометрию (ВИМС). Каким методом и почему Вы воспользуетесь?

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Информацию о содержании кислорода в материале может дать ...

Ответы:

вторичная ионная масс-спектрометрия

же-электронная спектроскопия

атомно-силовая микроскопия

Верный ответ: вторичная ионная масс-спектрометрия

2. Информацию о расположении атомов на поверхности материала может дать ...

Ответы:

атомно-силовая микроскопия

рентгеновская фото-электронная спектроскопия  
спектроскопия рентгеновского поглощения

Верный ответ: атомно-силовая микроскопия

3. Коллективные колебания электронного газа называют квазичастицами ...

Ответы:

плазмоны

фотоны

фононы

Верный ответ: плазмоны

4. Поверхностной чувствительностью обладает ...

Ответы:

рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия

рентгеноспектральный микроанализ

спектроскопия рентгеновского поглощения

Верный ответ: рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия

5. Большой разрешающей способностью обладает метод картирования элементного состава в просвечивающем электронном микроскопе метод ...

Ответы:

рентгеноспектрального микроанализа

спектроскопии характеристических потерь энергии электронами

Верный ответ: спектроскопии характеристических потерь энергии электронами

6. Исследование поверхности различными методами проводится в условиях ...

Ответы:

сверхвысокого вакуума

низкого вакуума

атмосферы

Верный ответ: сверхвысокого вакуума

## **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

*Оценка: 2*

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

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**