

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
Декан физического факультета  
С.Н. Филимонов

Оценочные материалы по дисциплине

**Электронная микроскопия**

по направлению подготовки

**03.03.02 Физика**

Направленность (профиль) подготовки:  
**«Фундаментальная и прикладная физика»**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Бакалавр**

Год приема  
**2025**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
С.Н. Филимонов

Председатель УМК  
О.М. Сюсина

## **1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-2 Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;

ПК-1 Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 2.2 Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования

ИПК 1.1 Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования

## **2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания**

Элементы текущего контроля: контрольная работа

Контрольная работа состоит из 10 теоретических вопросов и 10 задач.

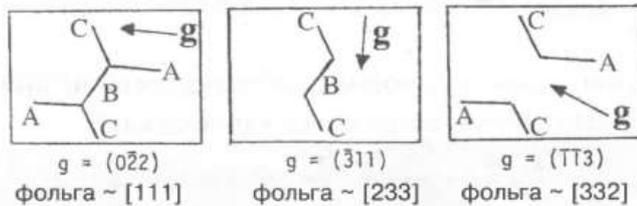
*Примеры теоретических вопросов:*

1. Назовите несколько причин использования более высокого ускоряющего напряжения в ПЭМ?
2. Сферическая абберация. Причины возникновения. Способы устранения.
3. Основные диафрагмы микроскопа, предназначение каждой диафрагмы.
4. Принцип работы магнитной линзы.
5. Основные требования к электронному пучку.
6. Чем отличаются дифракционная картина из выбранной области и дифракция в сходящемся пучке?
7. Закон Брегга
8. Какие основные линзы в микроскопе.
9. Астигматизм. Причины возникновения. Способы устранения.
10. Что такое разрешающая способность микроскопа. Дифракционный предел
11. Основные типы электронов, формируемые при взаимодействии с образцом и используется для получения дифракционного и фазового контраста.
12. Что такое яркость источника электронов и как можно управлять этой характеристикой?
13. Где располагается апертурная диафрагма объективной линзы в колонне микроскопа? Зачем нужна данная диафрагма.  
и тд.

*Примеры задач:*

1. Определить глубину резкости, если необходимо разрешить детали около 1 нм при увеличении 10000х и сходимости пучка  $0.05^\circ$ . Результат в метрах представить.

- Оцените предельное разрешение микроскопа с ускоряющим напряжением 120 и 200 кВ ( $\lambda[A] = 12.26 \left( V[\text{Вольт}] \cdot (1 + 0.9788 \cdot 10^{-6} V[\text{Вольт}]) \right)^{-0.5}$ ) при работе с очень тонким образцом, полагая, что  $C_s = 1 \text{ мм}$  а  $\alpha = 0.05^\circ$ .
- Определить глубину поля, если необходимо разрешить детали около 10 нм при сходимости пучка  $1^\circ$
- Определить характер дислокации (краевая или винтовая) и направление вектора  $b$  для участков А дислокации в ГЦК-материале. Известно, что они либо чисто краевые или винтовые и расположены в плоскости (111)



- Определить скалярную плотность дислокаций методом секущих и методом подсчета точек выхода.
- Оценить геометрически необходимую плотность дислокаций
- Индексирование картин микродифракции от ГЦК и ОЦК кристаллов  
И т.д.

*Критерии оценивания:*

Текущий контроль по дисциплине проводится с применением балльно-рейтинговой системы, включающей контроль посещаемости, результаты выполнения контрольных работ, и фиксируется в форме баллов (нарастающим итогом):

- посещаемость, максимальный балл 10,
- каждый правильный ответ на вопрос или задачу контрольной работы выставляется 5 баллов

**3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания**

Экзаменационный билет включает 2 вопроса из списка контрольных вопросов по курсу, проверяющих сформированность компетенций ПК-1 и ОПК-2 в соответствии с индикаторами ИПК-1.1 и ИОПК 2.2. Ответы даются в развернутой форме.

Пример экзаменационного билета:

**БИЛЕТ № 1**

Вопрос 1. Формула Аббе, сферическая aberrация и разрешающая способность электронного микроскопа.

Вопрос 2. Электронно-микроскопический контраст некристаллических объектов. Резерфордский закон рассеяния электронов. Полное сечение рассеяния и критическая эффективная толщина образца.

Дополнительные и/или уточняющие вопросы по основным темам и содержанию курса (раздел 8), позволяющие оценить уровень освоения всей программы. Ответ на уровне формулировки основных определений и/или краткого изложения физики явления и соответствующих представлений.

Например:

Вопрос 1. Принцип действия магнитной линзы.

Вопрос 2. Условия Лауэ.

И т.д.

Перечень вопросов, выносимых на экзамен.

1. Формула Аббе, сферическая aberrация и разрешающая способность электронного микроскопа.
2. Электронно-микроскопический контраст некристаллических объектов. Резерфордский закон рассеяния электронов. Полное сечение рассеяния и критическая эффективная толщина образца.
3. Принцип действия электростатической и магнитной линзы. Движение электронов в длинной магнитной линзе – условие фокусировки и его связь со сферической aberrацией.
4. Рассеяние электронов на атоме. Амплитуда атомного рассеяния.
5. Ход лучей в электронном микроскопе. Устройство электронной пушки.
6. Рассеяние электронов на элементарной ячейке. Структурный фактор элементарной ячейки.
7. Ход лучей в объективной линзе. Принципы формирования дифракционного и амплитудно-фазового контраста.
8. Обратная решетка. Условия Лауэ. Закон Брегга.
9. Принцип действия однолинзового и двухлинзового конденсора.
10. Волновая функция и волновой вектор электрона. Преломление электронной волны.
11. Влияние размеров и формы кристаллов на форму узлов обратной решетки. Угловые размеры дифракционных максимумов.
12. Кинематическая теория электронно-микроскопического контраста. Суть кинематического приближения. Колонковое приближение.
13. Геометрия электронограмм. Постоянная прибора. Анализ электронограмм (кольцевых и от монокристаллических объектов).
14. Амплитуда рассеяния на идеальном кристалле. Толщинные и изгибные контуры экстинкции.
15. Контраст от несовершенных кристаллов, общее выражение.
16. Контраст от винтовой дислокации, параллельной плоскости фольги – анализ контраста методом амплитудно-фазовых диаграмм и результаты расчета профиля изображения.
17. Экстинкционная длина, ее оценка для случая точного Брегговского отражения.
18. Электронно-микроскопический контраст (полосы смещения) от плоских дефектов.
19. Типы электронно-микроскопического контраста на частицах вторичных фаз.
20. Амплитудно-фазовый контраст – прямое разрешение кристаллической решетки.

*Критерии оценивания:*

Результаты зачета определяются оценками «зачтено» («отлично», «хорошо», «удовлетворительно»), «не зачтено» («неудовлетворительно»).

На промежуточную аттестацию планируется не более 40 баллов.

Итоговая оценка по дисциплине складывается из суммы баллов, полученных по итогам текущего контроля и промежуточной аттестации.

Оценка определяется исходя из результатов зачета и текущей аттестации в течение семестра и согласуется с принятым соответствием с 5-ти балльной шкалой оценивания:

Оценка «отлично» выставляется, если 100-86 баллов

Оценка «хорошо» выставляется, если 85-66 баллов.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если 65-50 баллов.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если менее 50 баллов.

#### 4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)

Тест

1. Апертурная диафрагма в первую очередь используется для
  - a. получения светлопольных и темнопольных изображений
  - b. ограничения области, с которой будет получена картина микродифракции
  - c. изменения параметров освещённости образца
2. Чем основное отличие кинематической теории контраста от динамической теории контраста?
  - a. Динамическая теория учитывает многократное рассеяние, а кинематическая нет.
  - b. Кинематическая теория учитывает многократное рассеяние, а динамическая нет.

Ключи: 1-а, 2-а

Задачи:

1. Определить глубину резкости, если необходимо разрешить детали около 1 нм при увеличении 10000х и сходимости пучка  $0.05^\circ$ . Результат представить в метрах.
2. Оцените разрешение микроскопа с ускоряющим напряжением 100 кВ при работе с очень тонким образцом, полагая, что  $C_s=0.7\text{мм}$  а  $\alpha=0.05^\circ$ .

Ответ

1. 229 м.
2. 0.3 нм

Теоретические вопросы:

1. Типы электронно-микроскопического контраста на частицах вторичных фаз.  
Ответ должен содержать описание основных типов контраста – матричный и контраст на выделении, а также физических принципов их формирования на электронно-микроскопических фотографиях.
2. Геометрия электронограмм.  
Ответ должен содержать описание механизма формирования дифракционных картин. Также должны быть приведены способы индицирования различных электронограмм (кольцевых и от монокристаллических объектов)

#### Информация о разработчиках

Смирнов Иван Владимирович, кандидат технических наук, кафедра физики металлов физического факультета ТГУ, доцент.