

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
материаловедения и индустрии наносистем



В.М. Иевлев  
23.05.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.07.01 Микроскопические методы исследования структуры материалов**

- 1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**  
04.03.02 Химия, физика и механика материалов
- 2. Профиль подготовки/специализация:** материаловедение и индустрия наносистем
- 3. Квалификация выпускника:** бакалавр
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** Материаловедения и индустрии наносистем
- 6. Составители программы:** д.ф.-м.н., *проф. Иевлев Валентин Михайлович*, д.ф.-м.н., *проф. Белоногов Евгений Константинович*
- 7. Рекомендована:** научно-методическим советом химического факультета, протокол №4 от 25.04.2023
- 8. Учебный год:** 2025-2026 **Семестр(ы):** 5

### 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Освоение физических основ микроскопических методов исследования структуры материалов, методик анализа.

Задачами курса являются:

- формирование базовых знаний в области физического материаловедения и основ взаимодействия излучения с веществом;
- обучение студентов теоретическим основам методов исследования наносистем и принципам использования аналитических установок в исследовании структуры и свойств материалов;
- формирование умений и навыков проведения студентами экспериментальных исследований в области нано- и биоматериалов, обработке данных;

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** (обязательная или вариативная часть блока Б1, к которой относится дисциплина) Б1. Часть, формируемая участниками образовательных отношений

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):**

Код	Название компетенции	Код	Индикатор	Планируемые результаты обучения
ПК-3	Способен проводить обработку и анализ результатов исследования, полученных основными методами анализа веществ, элементного и фазового состава, структуры и свойств материалов (включая наноматериалы)	ПК-3.1	Обладает знаниями возможностей основных методов анализа веществ, элементного и фазового состава, структуры и свойств материалов (в том числе наноматериалов)	Знать: современные проблемы материаловедения; теоретические модели фундаментальных процессов; основы кристаллографии, кристаллофизики и кристаллохимии; взаимосвязь и фундаментальное единство естественных наук. Уметь: использовать различные методы при исследовании структуры и фазового состава материалов; решать исследовательские задачи на аналитическом оборудовании; Владеть: навыками решения реальных задач исследования структуры материалов (в том числе наноматериалов); планированием, постановкой и обработкой результатов эксперимента; методами анализа изображений просвечивающей, растровой и сканирующей зондовой микроскопии;
		ПК-3.2	Способен обрабатывать и анализировать результаты типовых методов исследования состава, структуры и свойств материалов (в том числе наноматериалов)	знать: физические основы методов исследования микро- и наносистем; теоретические и экспериментальные основы просвечивающей и растровой электронной микроскопии и микроанализа; уметь: планировать оптимальное проведение исследования элементного, фазового состава и атомной структуры материалов; выделять физическую суть в технических задачах; Владеть:

				Навыками математической обработки и анализа результатов исследования состава, структуры и свойств материалов (в том числе наноматериалов); способность к использованию современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.
ПК-4	Способен проводить анализ сырья и компонентов, аттестацию производимых материалов по структуре и свойствам	ПК-4.1.	Выполняет стандартные технологические операции для характеристики сырья, промежуточной и конечной продукции производства материалов	Знать: методы исследования материалов и экспериментальные методики, разработанные на их базе; Уметь: делать закономерные выводы, исходя из теории и результатов эксперимента; Владеть: навыками планирования и самостоятельной работы на современном экспериментальном оборудовании для характеристики сырья и конечной продукции производства материалов.
		ПК-4.2	Составляет протоколы аттестации материалов и отчеты о выполненной работе в соответствии с заданной формой	Знать: возможности и ограничения, методы моделирования эксперимента. Уметь: исключать несущественные эффекты при моделировании реального физического эксперимента. Владеть: навыками аттестации материалов и подготовки отчета о исследовании структуры материалов и наносистем;

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 5 з.е. / 180 часов. Форма промежуточной аттестации – зачет.**

### 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			...	№ семестра 5	...
Контактная работа		72		72	
в том числе:	лекции	36		36	
	практические				
	лабораторные	36		36	
	курсовая работа				
Самостоятельная работа		72		72	
Промежуточная аттестация		36		36	
Итого:		180		180	



		изгибные контуры.	
1.11		Изображение дефектов упаковки. Трансляционные дефекты. Антифазные границы. Дислокации. Рассеяние электронов на аморфных структурах. Исследование морфологии поверхности. Анализ дислокаций. Границы раздела. Получение изображений в слабых пучках. Магнитные образцы и магнитные домены.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12136">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12136</a>
1.12	Отражательная дифракционная электронная микроскопия	Дифракция быстрых электронов. Электронография. Особенности метода, возможности в исследовании атомной структуры и структурных превращений на поверхности кристаллов.	
1.13	Растровая электронная микроскопия	Энергодисперсионный спектрометр. Волновой спектрометр. Детекторы. Картирование. Количественный анализ. Пространственное разрешение.	
1.14	Растровая электронная микроскопия	Спектр потерь энергии электронов. Спектрометр. Разрешение. Монохроматоры. Количественный анализ. Принципы работы растрового микроскопа. Системы растрового микроскопа. Режимы получения изображений. Влияние энергии электронов на изображение. Обратное рассеянные электроны. Вторичные электроны. Микроанализ в растровой микроскопии Устройство ионных источников ФИП. Применение ФИП в исследованиях материалов. Трехмерная реконструкция	
1.15	Сканирующая зондовая микроскопия	Атомно-силовая микроскопия: принцип, аналитические возможности	
16	Сканирующая зондовая микроскопия	Сканирующая туннельная микроскопия: принцип, аналитические возможности	
1.17	Автоионная микроскопия	Автоионная микроскопия. Принцип, аналитические возможности	
1.18	Ближнепольная световая микроскопия	Ближнепольная световая микроскопия. Принцип, аналитические возможности	
<b>2. Лабораторные работы</b>			
2.1	Просвечивающая электронная микроскопия	Приготовление образцов для просвечивающей электронной микроскопии	
2.2		Исследование калибровочного образца в просвечивающем электронном микроскопе.	
2.3	Растровая электронная микроскопия	Исследование калибровочного образца в растровом электронном микроскопе.	

	микро-скопия		
2.4	Электронно-графия	Работа на электронографе в режимах «на просвет» и «на отражение».	
2.5		Индицирование электронограмм; установление фазового состава образца	
2.6		Индицирование электронограмм; определение текстуры и взаимной кристаллографической ориентации зерен гетероструктуры	
2.7	Сканирующая зондовая микроскопия	Измерение шероховатости реальных образцов методом АСМ;	
2.8		Исследование образцов методом СТМ;	

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)					Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Промежуточная аттестация	
1	Классификация методов. Физические принципы	6			10	12	28
2	Просвечивающая электронная микроскопия	16		16	30	8	70
3	Электроннография	2		6	8	6	22
4	Растровая электронная микроскопия	4		6	8	4	22
5	Сканирующая зондовая микроскопия	4		8	8	2	22
6	Автоионная микроскопия	2			4	2	8
7	Ближнепольная световая микроскопия	2			4	2	8
	Итого:	36		36	72	36	180

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации и т.д.)

Изучения дисциплины организовано регламентом:

- изучение теоретического курса – выполняется самостоятельно каждым студентом по итогам каждой из лекций, усвоение контролирует преподаватель на лекционных занятиях; студенты используют конспект лекций, учебники, методические пособия, рекомендуемые данной программой.
- решение задач и выполнение расчетных заданий; консультация преподавателя во время лекционных занятий, сдача-приемка заданий в конце семестра, студенты используют конспект лекций, учебники, сборники задач (включая электронные), учебно-методические пособия.
- изучение основных и дополнительных литературных источников;
- выполнение лабораторно - практического задания; самостоятельное изучение аппаратных и программных средств электровакуумных установок ВУП, ПЭМ, РЭМ и зондового микроскопа СОЛВЕР П47; студенты используют конспект лекций, учебники, паспорта и инструкции по экс-

плутации (включая электронные), учебно-методические пособия, консультируются у преподавателя; получают допуск к выполнению лабораторно - практического задания;

- текущий контроль успеваемости в форме устного опроса по основным разделам дисциплины или письменных тест - ответов.

**15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)**

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Методы исследования материалов. Часть 1. Методы анализа электронной атомной структуры, субструктуры и морфологии поверхности пленочных гетероструктур и наноструктур. Уч. пособие/ Белоногов Е.К., Домашевская Э.П., Иевлев В.М. и др. Воронеж, ВГУ, 2005. – 180 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1.	Методы исследования атомной структуры и субструктуры материалов: Уч. пособие / В.М. Иевлев, А.Т. Косилов и др. – Воронеж: ВГТУ, 2003. – 485 с.
2.	.Рентгенографический и электроннооптический анализ, Горелик С.С, М.: МИ-СиС, Доп. УМО, 2012
3.	Электронная микроскопия тонких кристаллов / Хирш П., Хови А. и др.; М.: Мир, 1968. - 574с.
4.	Томас Г., Гориндж М.Дж. Просвечивающая электронная микроскопия материалов. М.: Наука, 1983. - 320 с.
5.	Дифракционные и микроскопические методы в материаловедении / под ред. Амелинкса С. и др. – М.: Металлургия, 1984. - 504 с.
6.	Практическая, растровая электронная микроскопия / под ред. Гоулстейна Дж. и Яковица Х. – М.: Мир, 1978. - 56 с.
7.	Микроструктура материалов: методы исследования и контроля: учеб. пособие: пер. с англ. яз. Брандон Д. Каплан У. М.: Техносфера, 2009
8.	Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия, Синдо Д., Оикава Т. М.: Техносфера, 2006
9.	Автоионная микроскопия / под ред. Рена Дж. и Ранганатана С., М.: Мир, 1971. - 270 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
10	<a href="https://www.lib.vsu.ru/">https://www.lib.vsu.ru/</a> - сайт Зональной Научной Библиотеки Воронежского государственного университета
11	<a href="http://www.ntmdt-si.ru/">http://www.ntmdt-si.ru/</a> - сайт Нанотехнологии и измерительное оборудование для научных исследований методами сканирующей зондовой микроскопии
12	<a href="https://www.microscop.ru/oborudovanie/">https://www.microscop.ru/oborudovanie/</a> сайт компании Системы для микроскопии и анализа
13	<a href="http://www.nanometer.ru/">http://www.nanometer.ru/</a> - Нанотехнологическое сообщество «Нанометр»
14	<a href="http://www.nanonewsnet.ru/">http://www.nanonewsnet.ru/</a> - новости нанотехнологий, информационно-аналитическое издание, посвященное вопросам популяризации и развития нанотехнологий в РФ
15	<a href="http://www.rusnanonet.ru/">http://www.rusnanonet.ru/</a> - информационно-аналитический портал российской национальной нанотехнологической сети

\* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)**

№ п/п	Источник
	<i>основные</i>
1	Иевлев В.М. Тонкие пленки неорганических материалов: Механизм роста и субструктура. / В.М. Иевлев. учеб. пособие. – Воронеж: ИПЦ ВГУ, 2008. – 496 с.
2	Тонкие пленки и гетероструктуры : сборник задач и вопросов : учебно-методическое пособие для вузов : [для студ. 4 к. хим.и 3-4 к. физ. факультетов направления 020300 - Химия, физика и механика материалов] / сост.: В.М. Иевлев, А.С. Прижимов .— Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2013
3	Сборник задач по курсу "Физика тонких пленок" (Методические указания) В.М. Иевлев, Белоногов Е.К., Издательство ВГТУ, Воронеж, 2004г. 30с.
4	Д. Брандон, У. Каплан. «Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля.» Техносфера, М 2004.
5	Б. Фульц, Дж. Хау. Просвечивающая электронная микроскопия и дифрактометрия материалов.» Техносфера, М 2011.
6	Д.Синдо, Т.Окинава «Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия» Техносфера, М 2006.
7	Р.Ф. Эгертон. «Физические принципы электронной микроскопии.» Техносфера, М 2009.
	<i>дополнительные</i>
8	D.V.Williams and C.D.Carter. Transmission Electron Microscopy. A textbook for Materials Science. 2nd edition. Plenum Press, New York, London, 2007.
9	Э.Р.Кларк, К.Н.Эберхардт «Микроскопические методы исследования материалов». Техносфера, М 2007.
	<i>Пособия и методические указания.</i>
10	Решетов В.Н. //Учебно-методическое пособие «Современные методы исследования наноразмерных структур. Лабораторный практикум» Изд. МФТИ (ГУ)-ФГБНУ ТИСНУМ, 2011.
11	М.М.Криштал, И.С.Ясников, В.И.Полунин, А.М.Филатов, А.Г.Ульяненок «Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный анализ в примерах практического применения.» Техносфера, М 2009.
	Электронные ресурсы, включая доступ к базам данных
12	<a href="http://www.gel.usherbrooke.ca/casino/index.html">http://www.gel.usherbrooke.ca/casino/index.html</a> <a href="http://www.matter.org.uk/tem/">www.matter.org.uk/tem/</a> 1. <a href="http://ctem.web.cmu.edu/">http://ctem.web.cmu.edu/</a> 2. <a href="http://www.matter.org.uk/tem/">www.matter.org.uk/tem/</a> 3. <a href="http://www.cmca.uwa.edu.au/access/training">http://www.cmca.uwa.edu.au/access/training</a> 4. <a href="http://www.microscopy.info/Microscopy/Guide">http://www.microscopy.info/Microscopy/Guide</a> 5. <a href="http://database.iem.ac.ru/mincryst/descript.htm">database.iem.ac.ru/mincryst/descript.htm</a> 6. <a href="http://www.crystallography.net">www.crystallography.net</a>

**17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)**

Проведение текущей аттестации и самостоятельной работы по отдельным разделам дисциплины.

Использование ЭУМК <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=12136>



**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Просвечивающие электронные микроскопы (LIBRA 120Philips EM-430 ST, ЭМВ-100 БР) для структурных и субструктурных исследований.

Растровый электронный микроскоп LEOSUPRA 50 VP с системой микроанализа INCA.

Ультрамикротом Ultracut-R для пробоподготовки по методике cross-section.

Электроннограф (ЭГ-100М) для проведения исследований методом ДБЭ.

Лабораторная установка для электрополирования металлических образцов.

Оборудование и стенды для определения механических свойств наноматериалов.

Ноутбук, мультимедийный проектор, экран

**19. Фонд оценочных средств для проведения текущей и промежуточной аттестаций:****19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1	Просвечивающая электронная микроскопия	ПК-3	ПК-3.1	Практическое задание № 1, 2 Устный опрос.
2	Растровая электронная микроскопия		ПК-3.2	Практическое задание № 3, 4 Устный опрос.
3	Просвечивающая электронная микроскопия	ПК-4	ПК-4.1	Практическое задание № 5, 6 Устный опрос.
4	Сканирующая зондовая микроскопия		ПК-4.2	Практическое задание № 7, 8 Реферат

**19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации:** Для оценивания результатов обучения на зачете используется – зачтено, не зачтено

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Знает и понимает сущность микроскопических методов исследования структуры материалов и приборное обеспечение; знает устройство электронных микроскопов и основные подходы проведения исследований; умеет готовить образцы для исследования; владеет навыками использования методик электронной микроскопии и применяет их при решении задач материаловедения, которые не содержат прямых указаний на порядок действий для решения. Владеет основным материалом курса, дает полные и правильные ответы на зачете.	<i>Пороговый уровень</i>	<i>Зачтено</i>
Имеет представление о содержании дисциплины, но не знает методик, состава и физических принципов исследования методами электронной микроскопии; не умеет проводить	–	<i>Не зачтено</i>

измерения нанообъектов и наносистем методами электронной микроскопии; не имеет навыков обработки результатов. Существенно искаженные ответы по вопросу билета на зачете.		
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

## **20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания (задания, материалы для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

### **20.1 Текущий контроль успеваемости**

1. Трансляционная симметрия. Индексы Миллера. Ось зоны.
2. Принципы построения обратной решетки (на примере ГЦК и ОЦК кристаллов)
3. Структурный фактор рассеяния электронов (на примере ГЦК и ОЦК кристаллов)
4. Физические принципы просвечивающей электронной микроскопии
5. Физические принципы электронографии (дифракция быстрых электронов)
6. Физические принципы сканирующей туннельной микроскопии
7. Физические принципы зондовой атомно-силовой микроскопии
8. Физические принципы растровой электронной микроскопии
9. Физические основы рентгеноспектрального микроанализа
10. Абсорбционный контраст в просвечивающей электронной микроскопии
11. Дифракционный контраст в просвечивающей электронной микроскопии
12. Амплитудный контраст в просвечивающей электронной микроскопии
13. Фазовый контраст в просвечивающей электронной микроскопии
14. Светлопольное и темнопольное изображения в ПЭМ
15. Разрешение и глубина резкости изображения в ПЭМ
16. Основные преимущества метода ДБЭ по сравнению с РД.
17. Влияние размера кристаллита на получаемую дифракционную картину в ПЭМ.
18. Дифракционная картина для кристаллических и аморфных материалов.
19. Схема и основные узлы просвечивающего электронного микроскопа.
20. Назначение и конструкция электромагнитных линз в ПЭМ и РЭМ
21. Предельное разрешение изображения, получаемое в ПЭМ, РЭМ и СЗМ
22. Сфера Эвальда, обратная решетка, Лауэ зоны.
23. Получение изображений кристаллической решетки. Картины Муара.
24. Толщинные и изгибные контуры.
25. Изображение дефектов упаковки. Трансляционные дефекты. Антифазные границы.
26. Ограничения для исследуемых объектов в ПЭМ, РЭМ и СЗМ
27. Индексирование электронограмм от моно- и поликристаллических образцов
28. Анализ текстуры материалов методом дифракции быстрых электронов
29. Эффекты двойной дифракции в электронографии
30. Анализ структуры межзеренных и межфазных границ методом ПЭМ
31. Размерный эффект. Зависимость формы узла обратной решетки от размера кристалла.
32. Условия и принципы формирования Кикучи линий.
33. Метод муара в просвечивающей электронной микроскопии
34. Метод реплик в просвечивающей электронной микроскопии
35. Пробоподготовка в просвечивающей электронной микроскопии
36. Точность измерений в ПЭМ, РЭМ и зондовой микроскопии
37. Что ограничивает разрешение в просвечивающей электронной микроскопии.
38. Радиационные повреждения образцов в ПЭМ.
39. Виды рентгеновского излучения при взаимодействии электронов с веществом. Характеристическое и тормозное рентгеновское излучение.
40. Каковы основные различия между дифракцией от выделенной области и дифракцией в сходящемся пучке электронов. Динамические эффекты дифракции электронов.

41. Физические принципы контраста вблизи дислокации. Определение вектора Бюргерса
42. Источник электронов, яркость, когерентность, стабильность.
43. Магнитные линзы. Сферическая и хроматическая аберрации, астигматизм.
44. Полупроводниковые детекторы электронов, сцинтилляторы-ФЭУ, преимущества и недостатки.
45. Вакуумная система электронно- и ионно-зондовых приборов. Дифференциальная вакуумная система, работа в режимах естественной среды.

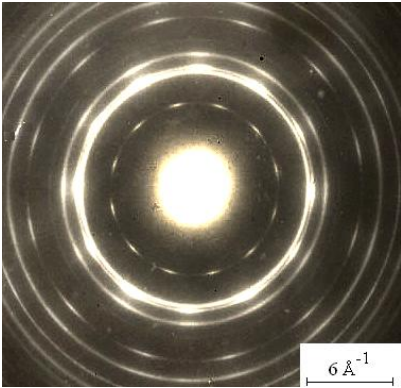
## 20.2 Перечень практических заданий

1. Доказать принадлежность плоскостей (111), (1 1 1), (2 1 2) одной зоне?
2. Для ОЦК и ГЦК решеток вычислить углы между направлениями:
  - 1) [001] и  $\langle 111 \rangle$ ; 2) [001] и  $\langle 112 \rangle$ ; 3) [111] и  $\langle 112 \rangle$ ;
3. Выбрать максимальное число плоскостей одной зоны: (111), (171), (312), (021), (311), (515), (133), (113), (110), (011), (101), (100).
4. Построить плоские сетки прямой и обратной решеток, перпендикулярные направлениям [001], [110], [111] для ГЦК решетки кристалла.
5. Определить индексы плоскостей, отсекающих на координатных осях отрезки:
  - 1) 2,3,4; 2) -3,3,2; 3) 1,-1,-5.
6. Найти индексы (hkl) плоскости, в которой находятся направления [011] и [102] для кристаллов кубической сингонии.
7. Дифрактограмма поликристаллического образца имеет отражения при углах  $\theta$ : 12,79; 14,81; 21,10; 25,00; 26,28; 30,74 град. Проверить принадлежность к кубической сингонии, провести индентификацию, определить параметр решетки ( $\lambda = 0.1032$  нм).
8. Вдоль оси [010] монокристаллической пластины вольфрама ( $3,16 \text{ \AA}$ ) распространяется пучок электронов с длиной волны  $\lambda = 4 \cdot 10^{-3}$  нм. Построить узлы обратной решетки плоскости [010], сферу Эвальда и направления дифрагированных пучков.
9. Определить направляющие косинусы дифрагированного пучка при отражении от плоскости (hkl) при заданных направляющих косинусах для кубической решетки.
10. Пучок рентгеновских лучей направлен вдоль оси [100] кристалла меди. Определить положение дифракционных максимумов отраженных от плоскостей принадлежащих зоне с индексами [111].



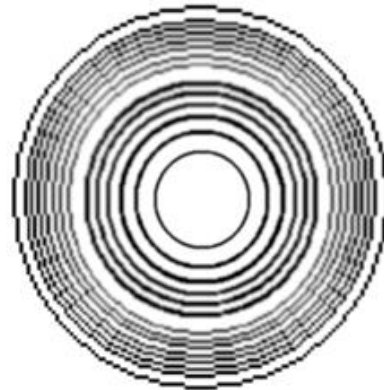
11. Рассчитать структурный фактор для ОЦК решетки кристаллов.
12. Рассчитать структурный фактор для ГЦК решетки кристаллов.
13. Электронограмма от поликристаллического образца имеет кольца с  $D_{hkl}$ : 28,0; 32,3; 45,7; 53,6; 56,0; 72,3 mm. Проверить принадлежность к кубической сингонии, индентифицировать, определить параметр решетки ( $D_{hkl} \times d_{hkl} = 65,24 \text{ mm} \times \text{ \AA}$ ).
14. Электронограмма от поликристаллического образца имеет кольца с  $D_{hkl}$ : 29,2; 41,3; 50,6; 58,4; 65,3; 71,5 mm. Проверить принадлежность к кубической сингонии, индентифицировать, определить параметр решетки ( $D_{hkl} \times d_{hkl} = 65,24 \text{ mm} \times \text{ \AA}$ ).

15. На рис. электронограмма от поликристаллического образца (твердый раствор PdCu). Для  $D_{hkl} \times d_{hkl} = 87,24 \text{ mm} \times \text{ \AA}$  вычислить  $d_{hkl}$  и провести индентификацию по табличным значениям, определить число кристаллических фаз образца.



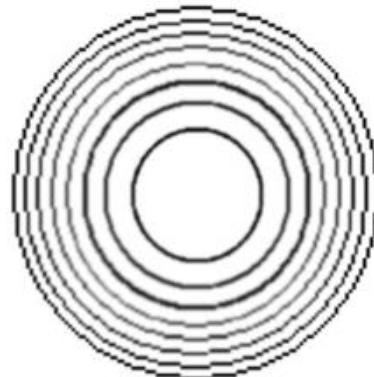
16. На рис. электронограмма от поликристаллического образца (твердый раствор PdCu). Вычислить  $d_{hkl}$  и провести индцирование по табличным значениям, определить тип текстуры.

17. На рис. представлена схема электронограммы от поликристаллического образца. Определить



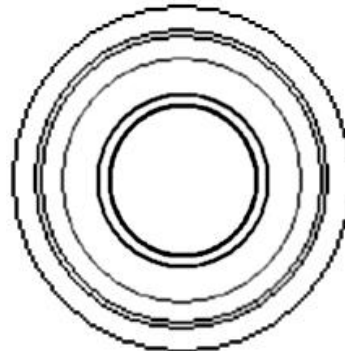
структурный тип кристаллической решетки.

18. На рис. представлена схема электронограммы от поликристаллического образца. Определить



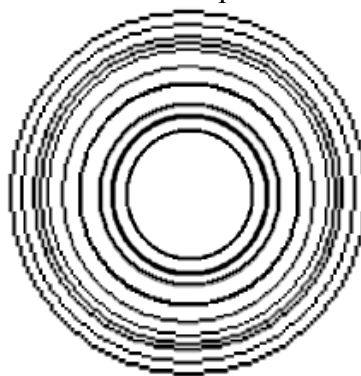
структурный тип кристаллической решетки.

19. На рис. представлена схема электронограммы от поликристаллического образца. Определить



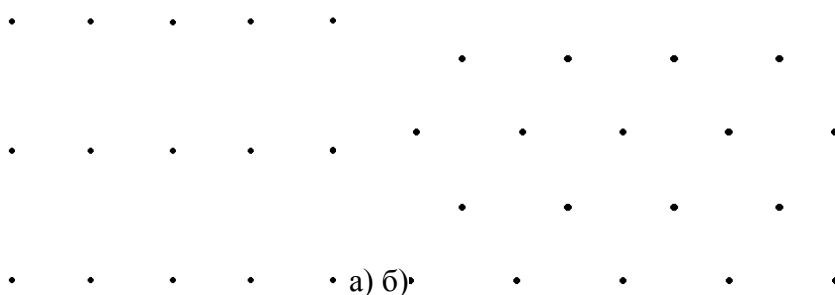
структурный тип кристаллической решетки.

20. На рис. представлена схема электронограммы от поликристаллического образца. Определить



структурный тип кристаллической решетки.

21. Индексировать электронограммы от монокристаллического образца (ГЦК).



Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме устного опроса, выполнения практического задания. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний.

При оценивании используются количественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.

### 20.3. Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ

#### Перечень заданий для оценки сформированности компетенции:

ПК-3 Способен проводить обработку и анализ результатов исследования, полученных основными методами анализа веществ, элементного и фазового состава, структуры и свойств материалов (включая наноматериалы)

#### 1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

1. Абсорбционный контраст в просвечивающей электронной микроскопии обусловлен:

- а) неупругим взаимодействием электронов с атомами вещества;
- б) упругим взаимодействием электронов с атомами вещества;
- в) упругим взаимодействием атомов вещества;
- г) упругой деформацией исследуемого вещества.

2. Амплитудный контраст в просвечивающей электронной микроскопии обусловлен:

- а) изменением амплитуды колебания атомов исследуемого образца;
- б) изменением структуры исследуемого образца под действием электронного пучка;

- в) **результатирующим изменением интенсивности электронного пучка после взаимодействия с исследуемым образцом;**
- г) изменением элементного состава вещества под действием электронного пучка.
3. Когда наблюдается эффект двойной дифракции в электронографии?
- а) эффект двойной дифракции наблюдается в результате отражения электронов в веществе;
- б) **эффект двойной дифракции наблюдается при условии дифракции электронного пучка на двухслойных кристаллических объектах;**
- в) эффект двойной дифракции происходит при удвоении интенсивности пучка;
- г) эффект двойной дифракции происходит при повторном наблюдении.
4. Чем отличается дифракционная картина для кристаллических и аморфных материалов?
- а) Дифракционная картина, полученная от аморфного материала, имеет вид гало;
- б) Дифракционная картина, полученная от кристаллического материала, имеет вид точечных рефлексов;
- в) **Дифракционная картина, полученная от кристаллического материала, имеет вид точечных рефлексов или колец, а от аморфного - гало;**
- г) Дифракционные картины не зависят от фазового состояния вещества.
5. Дифракционный контраст в просвечивающей электронной микроскопии обусловлен:
- а) неупругим рассеянием электронов;
- б) **упругим взаимодействием электронов с кристаллической решеткой вещества;**
- в) упругим взаимодействием атомов аморфного вещества;
- г) упругим взаимодействием электронов между собой.
6. Условия формирования Кикучи линий:
- а) **необходимое условие формирования Кикучи линий - одновременная реализация упругого и неупругого взаимодействия электронов с веществом;**
- б) при условии малой толщины исследуемого объекта;
- в) при условии большой толщины исследуемого объекта;
- г) только для кристаллических объектов.
7. Метод муара в просвечивающей электронной микроскопии позволяет:
- а) анализировать распределение точечных дефектов в эпитаксиальных пленках;
- б) **вычислить величину несоответствия параметров кристаллических решеток;**
- в) оценить элементный и фазовый состав тонкой пленки;
- г) рассчитать механические напряжения в тонкой пленке.
8. Метод реплик в просвечивающей электронной микроскопии используется для:
- а) анализа элементного состава материала;
- б) анализа фазового состава материалов;
- в) **анализа морфологии и рельефа поверхности образцов;**
- г) анализа элементного и фазового состава образцов.
9. Как зависит размер и форма дифракционного максимума (узла обратной решетки) от размера кристалла?
- а) **дифракционный максимум вытягивается в направлении наименьшего размера кристалла;**
- б) размер дифракционного максимума не зависит от размера кристалла;
- в) размер дифракционного максимума вытягивается в направлении наибольшего размера кристалла;
- г) дифракционный максимум возрастает пропорционально размеру кристалла.
10. Разрешение изображения в ПЭМ ограничено:
- а) сферической аберрацией;
- б) астигматизмом объективной линзы;
- в) увеличением микроскопа;
- г) **длиной волны де Бройля ускоренных электронов.**
11. Для получения светлопольного изображения в ПЭМ необходимо:
- а) апертурной диафрагмой выделить только дифрагированный пучок электронов;
- б) **апертурной диафрагмой выделить только проходящий пучок электронов;**
- в) удалить апертурную диафрагму;
- г) увеличить освещенность экрана.
12. Структурный фактор рассеяния для кристаллов с ОЦК решеткой равен нулю, если:
- а) сумма индексов  $h, k, l$  кристаллографической плоскости равна нечетному числу;
- б) **сумма индексов  $h, k, l$  кристаллографической плоскости равна четному числу;**
- в) сумма индексов  $h, k, l$  кристаллографической плоскости равна нулю; индексы  $h, k, l$ ;
- г) кристаллографической плоскости все нечетные.
13. Структурный фактор рассеяния для кристаллов с ГЦК решеткой равен нулю, если:

а) все индексы  $h, k, l$  кристаллографической плоскости четные или нечетные;

б) все индексы  $h, k, l$  кристаллографической плоскости нечетные;

в) все индексы  $h, k, l$  кристаллографической плоскости равны между собой;

г) все индексы  $h, k, l$  кристаллографической плоскости отрицательные.

14. Чему равен радиус сферы Эвальда?

а) радиус сферы Эвальда равен длине волны де Бройля;

б) радиус сферы Эвальда равен длине волны электромагнитного излучения в минус первой степени;

в) радиус сферы Эвальда равен длине камеры дифрактометра;

г) радиус сферы Эвальда равен половине расстояния от электронной пушки до экрана.

15. Для получения в ПЭМ темнопольного изображения необходимо:

а) апертурной диафрагмой выделить только дифрагированный пучок электронов;

б) апертурной диафрагмой выделить только проходящий пучок электронов;

в) удалить апертурную диафрагму;

г) уменьшить освещенность экрана.

16. Фазовый контраст в просвечивающей электронной микроскопии обусловлен:

а) строгим соблюдением условия Вульфа-Брегга;

б) малой толщиной исследуемой пленки;

в) интерференцией первичного и дифрагированного пучков электронов;

г) диффузным рассеянием электронов в аморфном веществе.

17. Какие функции выполняют электромагнитные линзы в ПЭМ и РЭМ?

а) электромагнитная линза фокусирует электронный луч на образце в ПЭМ и РЭМ;

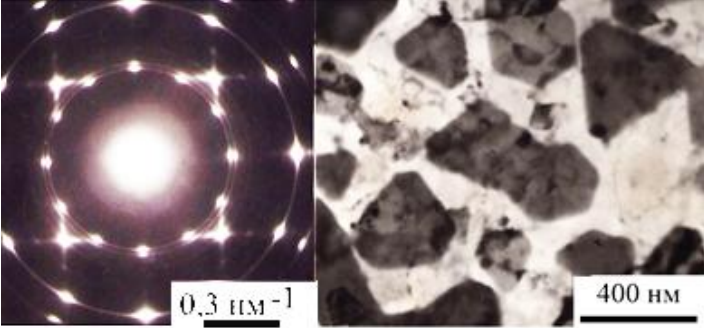
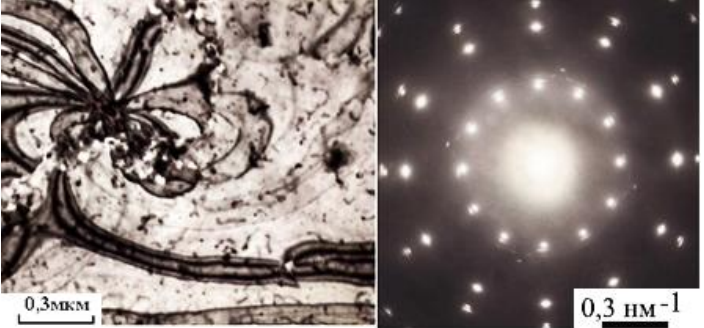
б) электромагнитная линза усиливает мощность электронного луча;

в) электромагнитная линза изменяет длину волны де Бройля;

г) электромагнитная линза способствует соблюдению условия Вульфа-Брегга.

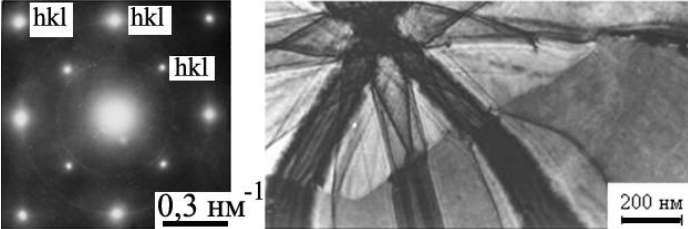
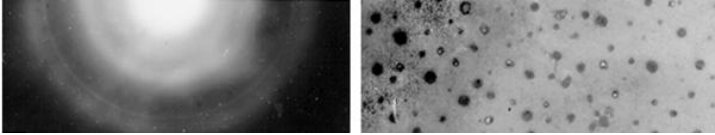
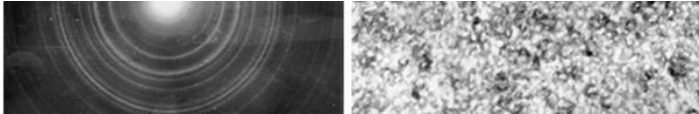
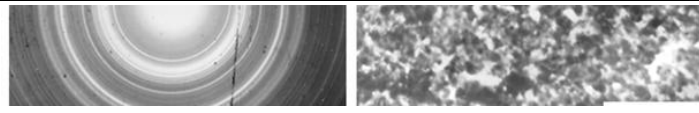
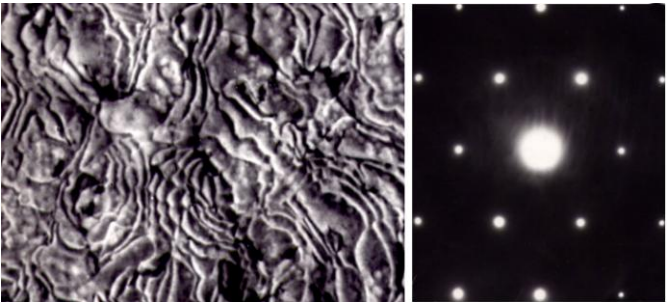
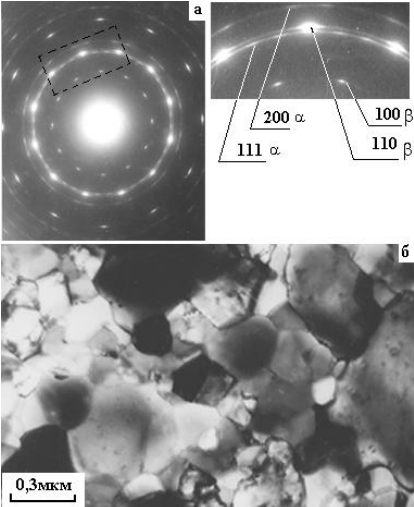
ПК-4 Способен проводить анализ сырья и компонентов, аттестацию производимых материалов по структуре и свойствам

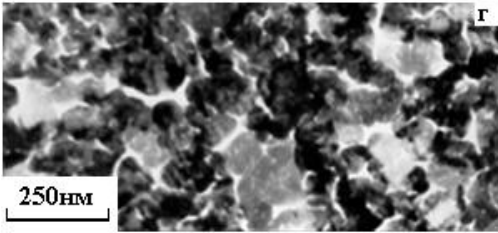
1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

<p>Исходя из представленных ПЭМ изображений структуры и электронограммы выбрать правильный ответ</p>	<p>Варианты ответа: Пленка характеризуется как:</p>
 <p>Электроннограмма (а) и ПЭМ изображение (б) пленки Ag-Al.</p>	<p>1) островковая; 2) <u>эпитаксиальная</u>; 3) монокристаллическая; 4) <u>поликристаллическая</u>; 5) однофазная</p>
 <p>ПЭМ изображение (а) и эл-грамма (б) пленки Ag-Al.</p>	<p>1) островковая; 2) <u>эпитаксиальная</u>; 3) монокристаллическая; 4) <u>поликристаллическая</u>; 5) <u>однофазная</u></p>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) островковая;</li> <li>2) <u>эпитаксиальная</u>;</li> <li>3) монокристаллическая;</li> <li>4) <u>поликристаллическая</u>;</li> <li>5) однофазная</li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) островковая;</li> <li>2) <u>эпитаксиальная</u>;</li> <li>3) монокристаллическая;</li> <li>4) поликристаллическая;</li> <li>5) однофазная</li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) островковая;</li> <li>2) эпитаксиальная;</li> <li>3) монокристаллическая;</li> <li>4) <u>поликристаллическая</u>;</li> <li>5) <u>однофазная</u></li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) островковая;</li> <li>2) <u>эпитаксиальная</u>;</li> <li>3) монокристаллическая;</li> <li>4) поликристаллическая;</li> <li>5) <u>однофазная</u></li> </ol>
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) островковая;</li> <li>2) <u>эпитаксиальная</u>;</li> <li>3) монокристаллическая;</li> <li>4) поликристаллическая;</li> <li>5) <u>однофазная</u></li> </ol>
<p>Электроннограмма (а) и ПЭМ изображение (б) пленки <math>\text{CuInSe}_2</math>. Решетка <math>\text{CuInSe}_2</math> ГЦТ:</p>	



 <p>Электроннограмма (а) и ПЭМ изображение (б) структуры пленки <math>\text{Cu}_2\text{Se}</math>, (ГЦК <math>a = 0.576 \text{ nm}</math>)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) островковая;</li> <li>2) <u>эпитаксиальная</u>;</li> <li>3) <u>монокристаллическая</u>;</li> <li>4) поликристаллическая;</li> <li>5) <u>однофазная</u></li> </ol>
 <p>Фрагмент электроннограммы и ПЭМ изображение пленки CIS, осажденной при температуре подложки: <math>T_p = 50^\circ\text{C}</math>;</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) <u>островковая</u>;</li> <li>2) эпитаксиальная;</li> <li>3) монокристаллическая;</li> <li>4) <u>нанокристаллическая</u>;</li> <li>5) однофазная</li> </ol>
 <p>Фрагмент электроннограммы и ПЭМ изображение пленки CIS, осажденной при температуре подложки: <math>T_p = 150^\circ\text{C}</math>;</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) <u>островковая</u>;</li> <li>2) эпитаксиальная;</li> <li>3) монокристаллическая;</li> <li>4) <u>поликристаллическая</u>;</li> <li>5) однофазная</li> </ol>
 <p>Фрагмент электроннограммы и ПЭМ изображение пленки CIS, осажденной при температуре подложки: <math>T_p = 250^\circ\text{C}</math></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) <u>островковая</u>;</li> <li>2) эпитаксиальная;</li> <li>3) монокристаллическая;</li> <li>4) <u>поликристаллическая</u>;</li> <li>5) однофазная</li> </ol>
 <p>ПЭМ изображение и фрагмент электроннограммы пленки алюминий - серебро</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) островковая;</li> <li>2) эпитаксиальная;</li> <li>3) <u>монокристаллическая</u>;</li> <li>4) поликристаллическая;</li> <li>5) <u>однофазная</u></li> </ol>
 <p>Электроннограмма (а) и ПЭМ изображение (б) пленки PdCu</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) островковая;</li> <li>2) <u>эпитаксиальная</u>;</li> <li>3) монокристаллическая;</li> <li>4) <u>поликристаллическая</u>;</li> <li>5) однофазная</li> </ol>

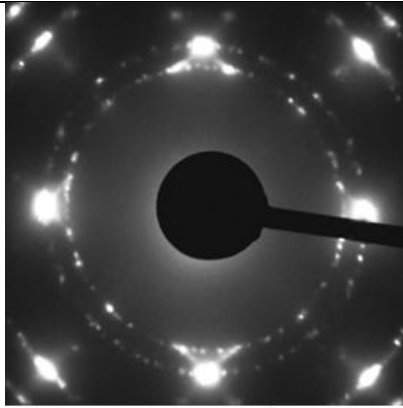


Электроннограмма (а) и ПЭМ изображение (б) пленки PdCu

- 1) лабиринтная;
- 2) эпитаксиальная;
- 3) монокристаллическая;
- 4) поликристаллическая;
- 5) однофазная

Верные ответы подчеркнуты

**ситуационные, практико-ориентированные задачи / мини-кейсы**

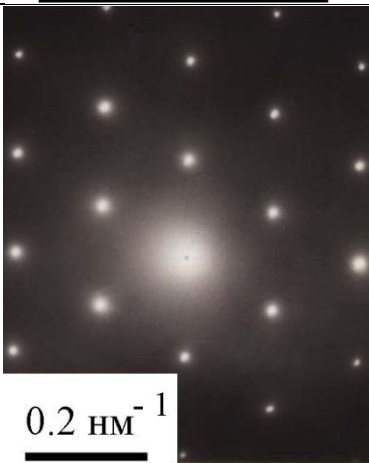


10  $\text{nm}^{-1}$

Дано: электронограмма пленки никеля.

Определить: Ось зоны параллельную пучку электронов при съемке электронограммы.

ОТВЕТ: [001]

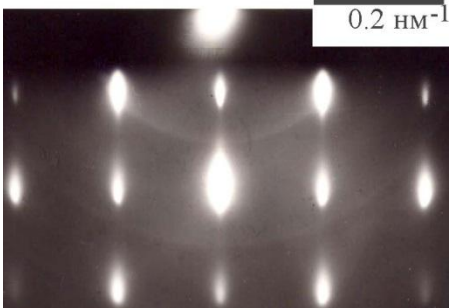


0.2  $\text{nm}^{-1}$

Дано: электронограмма пленки алюминия.

Определить: ось зоны параллельную пучку электронов при съемке электронограммы «на просвет».

ОТВЕТ: [111]

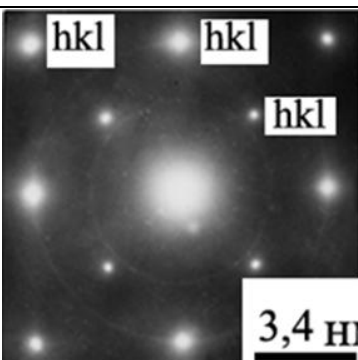


0.2  $\text{nm}^{-1}$

Дано: электронограмма пленки алюминия.

Определить: ось зоны параллельную пучку электронов при съемке электронограммы «на отражение».

ОТВЕТ: [110]



hkl

hkl

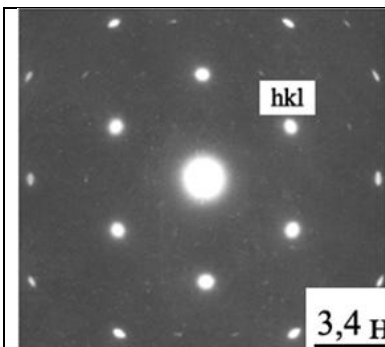
hkl

3,4  $\text{nm}^{-1}$

Дано: Электронограмма пленки  $\text{Cu}_2\text{Se}$ , ГЦК, параметр решетки  $a = 0.576 \text{ nm}$ , синтезированной на поверхность (001) NaCl при (001), [110]  $\text{Cu}_2\text{Se}$  II (001), [110] NaCl

Определить: ось зоны параллельную пучку электронов при съемке электронограммы.

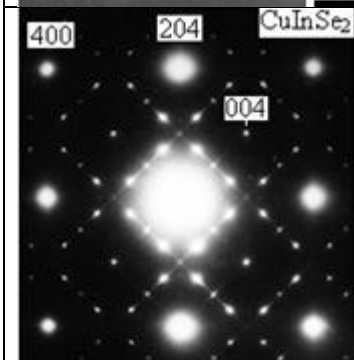
ОТВЕТ: [001]



Дано: Электронограмма пленки  $\text{CuInSe}_2$ , синтезированной последовательной конденсацией потоков  $\text{Cu-Se}$  и  $\text{In-Se}$  при  $T_{\text{п}}=670 \text{ K}$  на поверхности  $(111) \text{ NaCl}$ . Решетка  $\text{CuInSe}_2$  ГЦТ:  $a = b = 0,612 \text{ нм}$ ;  $c = 1,171 \text{ нм}$ .

Определить: ось зоны

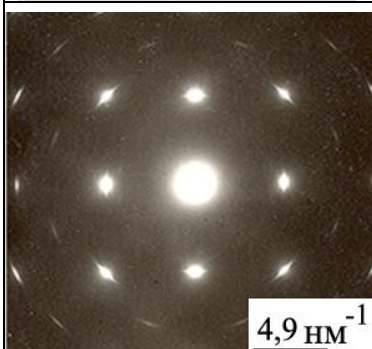
ОТВЕТ:  $[111]$



Дано: Электронограмма пленки  $\text{CuInSe}_2$ , синтезированной последовательной конденсацией потоков  $\text{Cu-Se}$  и  $\text{In-Se}$  при  $T_{\text{п}}=670 \text{ K}$  на поверхности  $(100) \text{ NaCl}$ . Решетка  $\text{CuInSe}_2$  ГЦТ:  $a = b = 0,612 \text{ нм}$ ;  $c = 1,171 \text{ нм}$ .

Определить: ось зоны

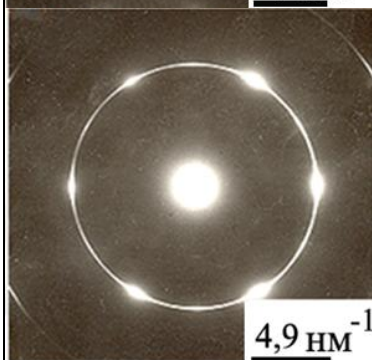
ОТВЕТ:  $[010]$



Дано: электронограмма пленки  $\text{PdCu}$ , нанесенной при  $T_{\text{п}}=650 \text{ K}$  на поверхность  $(001) \text{ NaCl}$ . Решетка  $\text{PdCu}$  ГЦК:  $a = 0,375 \text{ нм}$ ;

Определить: 2) ось зоны

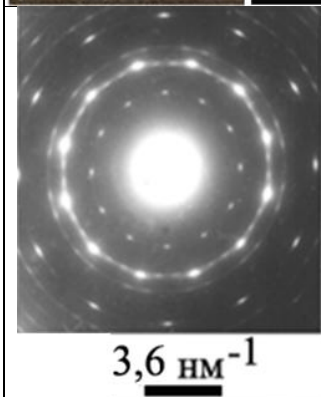
ОТВЕТ:  $[001]$



Дано: электронограмма пленки  $\text{PdCu}$ , нанесенной при  $T_{\text{п}}=650 \text{ K}$  на поверхность  $(111) \text{ NaCl}$ . Решетка  $\text{PdCu}$  ГЦК:  $a = 0,375 \text{ нм}$ ;

Определить: ось зоны

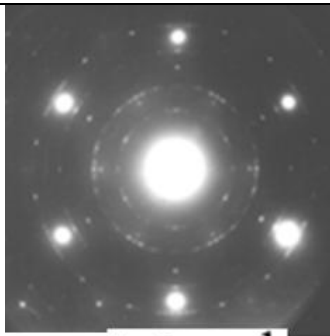
ОТВЕТ:  $[111]$



Дано: электронограмма пленки  $\text{PdCu}$ , нанесенной при  $T_{\text{п}}=650 \text{ K}$  на поверхность  $(001) \text{ NaCl}$ . Решетка  $\beta\text{PdCu}$  ПК:  $a = 0,296 \text{ нм}$

Определить: ось зоны

ОТВЕТ:  $[001]$

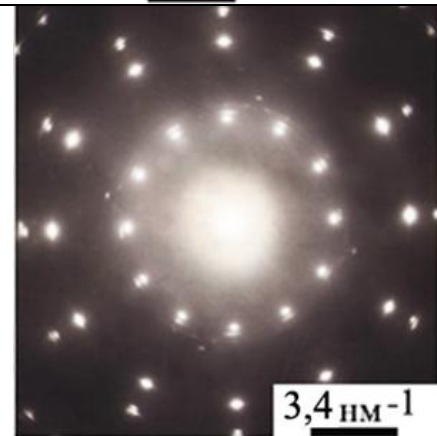


$3,6 \text{ нм}^{-1}$

Дано: электронограмма пленки PdCu. Решетка  $\beta\text{PdCu}$  ПК:  $a = 0,296 \text{ нм}$  и  $\alpha\text{PdCu}$  ГЦК:  $a = 0,375 \text{ нм}$ ;

Определить: ось зоны

ОТВЕТ: [111]

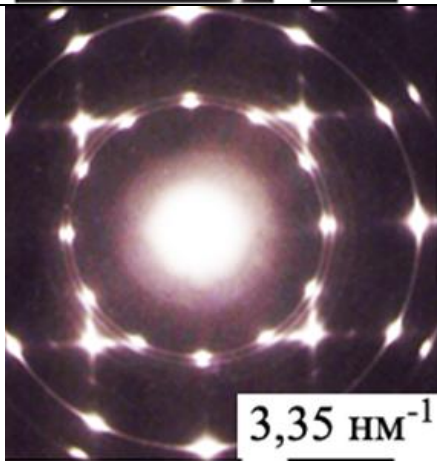


$3,4 \text{ нм}^{-1}$

Дано: электронограмма пленки Ag-Al. Решетка Ag: ГЦК,  $a = 0,4086 \text{ нм}$ ; решетка Al: ГЦК,  $a = 0,405 \text{ нм}$ ;

Определить: ось зоны

ОТВЕТ: [111]



$3,35 \text{ нм}^{-1}$

Дано: Электронограмма пленки Ag-Al. Решетка Ag: ГЦК,  $a = 0,4086 \text{ нм}$ ; решетка Al: ГЦК,  $a = 0,405 \text{ нм}$ ;

Определить: ось зоны

ОТВЕТ: [001]



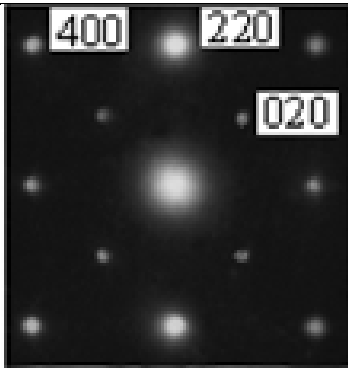
220 422

202

Дано: Электронограмма эпитаксиальной пленки  $\text{Cu}_2\text{Se}$  (ГЦК,  $a = 0.576 \text{ нм}$ ), синтезированной на поверхности (111) NaCl.

Определить: ось зоны

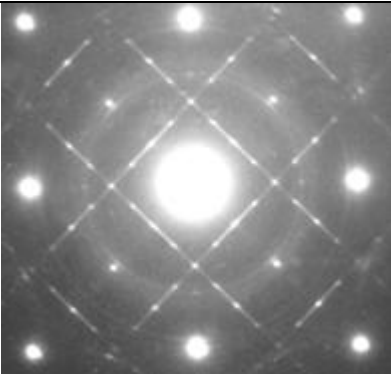
ОТВЕТ: [111]



Дано: Электронограмма эпитаксиальной пленки  $\text{Cu}_2\text{Se}$  (ГЦК,  $a = 0.576$  нм), синтезированной на поверхности (100) NaCl.

Определить: ось зоны

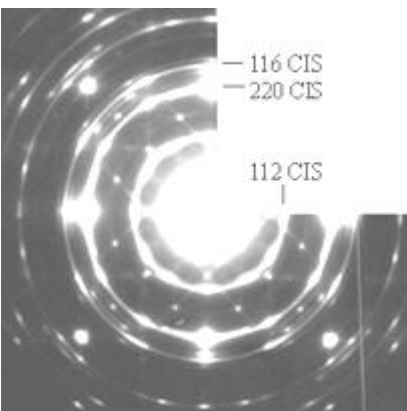
ОТВЕТ: [001]



Дано: Электронограмма пленки  $\text{CuInSe}_2$ , синтезированной последовательной конденсацией потоков Cu-Se и In-Se при  $T_{\text{п}}=670$  К на поверхности (100) NaCl. Решетка  $\text{CuInSe}_2$  ГЦТ:  $a = b = 0,612$  нм;  $c = 1,171$  нм.

Определить: ось зоны

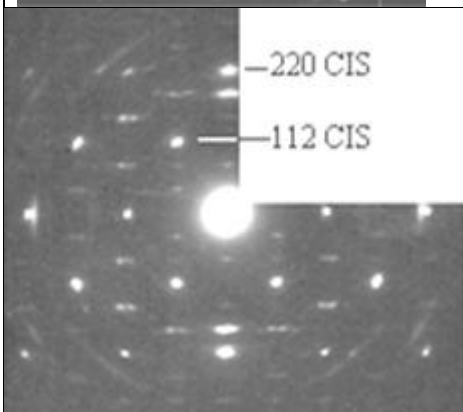
ОТВЕТ: [001]



Дано: Электронограмма пленки CIS, синтезированной последовательной конденсацией потоков Cu-Se и In-Se при  $T_{\text{п}}=670$  К на поверхности (100) NaCl. Решетка  $\text{CuInSe}_2$  ГЦТ:  $a = b = 0,612$  нм;  $c = 1,171$  нм.

Определить: ось зоны

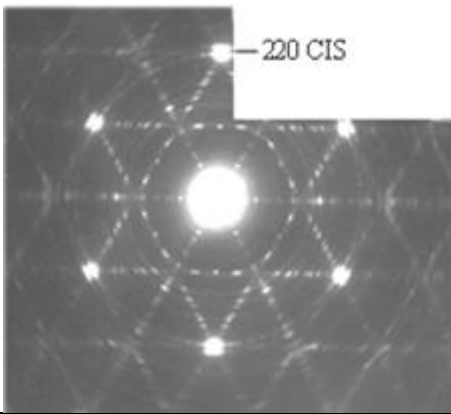
ОТВЕТ: [001]



Дано: Электронограмма пленки CIS, синтезированной последовательной конденсацией потоков Cu-Se и In-Se при  $T_{\text{п}}=670$  К на поверхности (100) NaCl. Решетка  $\text{CuInSe}_2$  ГЦТ:  $a = b = 0,612$  нм;  $c = 1,171$  нм.

Определить: ось зоны

ОТВЕТ: [112]; [110]



Дано: Электронограмма пленки CIS, синтезированной последовательной конденсацией потоков Cu-Se и In-Se при  $T_p=670$  К на поверхности (100) NaCl. Решетка  $\text{CuInSe}_2$  ГЦТ:  $a = b = 0,612$  нм;  $c = 1,171$  нм.

Определить: ось зоны

ОТВЕТ: [112]

