

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Декан ФРТЭ В.А.Небольсин
«20» января 2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Физика наносистем»

Направление подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль Компоненты микро- и наносистемной техники

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2023

Автор программы

/Костюченко А.В./

**И.о. заведующего кафедрой
твердотельной электроники**

/Калинин Ю.Е./

Руководитель ОПОП

/Стогней О.В./

Воронеж 2023

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины - формирование знаний и навыков в области базовых физических принципов построения и функционирования наносистем, а также разработки, создания и применения специальных материалов и устройств, используемых в нанотехнологиях.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Формирование у студентов знаний о механизмах физических явлений, происходящих в материалах на наноуровне; влиянии размерного фактора на свойства (термодинамические, кристаллохимические; электронные, оптические, магнитные, механические) наноструктурированных систем; ознакомление с возможностями практического применения наноструктурированных материалов при создании устройств для микроэлектроники и последними достижениями в данной области.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Физика наносистем» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физика наносистем» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-5 - Способен исследовать, анализировать и прогнозировать влияние различных факторов на параметры наногетероструктурных объектов и изделий.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-5	Знать физические механизмы явлений, происходящих на наноуровне; влияние размерного фактора на электрические, теплофизические, оптические, химические, механические свойства материалов.
	Уметь прогнозировать изменение физических свойств и структурных параметров материала при переходе в наноразмерное состояние; работать с математическим аппаратом квантовой механики
	Владеть навыками использования основных методов высокочувствительной сверхлокальной избирательной диагностики для изучения наносистем; методов расчета физических и структурных параметров наносистем

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Физика наносистем» составляет 3 з.е.

**Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
Аудиторные занятия (всего)	72	72
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
Самостоятельная работа	36	36
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость:		
академические часы	108	108
зач.ед.	3	3

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение	Структура и объекты исследования предмета физика наносистем, понятия и термины. История развития нанотехнологий. Размернозависимые свойства материалов. Области применения наносистем.	2	-	-	2	4
2	Структурная организация нанообъектов	Двумерные наноструктуры. Кинетика, термодинамика, механизмы роста пленок. Наноструктурирование объемных материалов. Проблема стабильности наноструктурных материалов. Кристаллофизика наносистем. Нанокластеры: теория зародышеобразования, структура, магические числа, теоретическая модель. Нанокристаллы: форма, размерный эффект структуры. Наноструктуры и методы их описания: нульмерные, одномерные, двумерные, трехмерные структуры. Квантовые точки, нити, ямы. Нанообъекты в твердом веществе, жидкостях и газах: металлические и молекулярные кластеры, супрамолекулярные структуры, коллоидные кластеры и	4	2	4	6	18

		наноструктуры, нанокристаллы, тонкие пленки, углеродные наноматериалы, нанокompозитные материалы.					
3	Методы исследования строения наноматериалов	Просвечивающая электронная микроскопия. Электронография. Сканирующая электронная микроскопия. Оже электронная спектроскопия. Сканирующая зондовая микроскопия.	4	4	8	4	20
4	Классические размерные эффекты	Поверхностная энергия. Размерный эффект в термодинамических свойствах наноструктур. Фазовый размерный эффект. Структурный размерный эффект. Субструктурный размерный эффект. Диффузия в наноструктурированных материалах. Размерный эффект тепло- и электропроводности. Дефекты в наноструктурных материалах. Соотношение Петча-Холла. Размерный эффект в механических свойствах наноструктурных материалов. Пластичность. Высокотемпературная деформация. Сверхпластичность. Упругие свойства.	6	2	6	4	18
5	Размерное квантование и квантоворазмерные наноструктуры. Статистика носителей в квантоворазмерных наноструктурах	Основные принципы квантовой механики. Зависимость зонной структуры от размера наночастиц. Теория квантовых переходов. Обменное взаимодействие. Квантовые размерные эффекты, масштабирование. Условия наблюдения квантоворазмерных эффектов. Плотность состояний в электронных системах с пониженной размерностью. Статистика носителей в низкоразмерных структурах. Структуры с низкоразмерным электронным газом. Энергетический спектр в системах с пониженной размерностью (0D – квантовых точках, 1D – квантовых нитях, 2D – квантовых ямах). Одномерные сверхрешетки. Виды структур с двумерным электронным газом: полупроводниковые и полуметаллические пленки, МДП-структуры, гетероструктуры, дельта-слои, графен. Экситоны в низкоразмерных структурах	6	4	-	8	18
6	Кинетические эффекты в квантоворазмерных наноструктурах	Физика процессов переноса в неупорядоченных системах. Теория протекания. Кооперативно-синергетические процессы переноса энергии и зарядов в	4	2	-	4	10

		конденсированных средах. Распределение и транспорт носителей заряда в квантово-размерных структурах. Время релаксации и подвижность. Механизмы рассеяния. Целочисленный квантовый эффект Холла. Дробный квантовый эффект Холла. Целочисленный квантовый эффект Холла. Дробный квантовый эффект Холла. Баллистический транспорт. Резонансное, спинзависящее туннелирование. Влияние магнитного поля на фазу электронных волн. Самостоятельное изучение. Приборы на основе баллистического транспорта.					
7	Оптические свойства квантово-размерных структур	Оптические свойства квантовых ям. Межзонное поглощение. Межуровневые переходы. Оптическая ионизация квантовых ям. Самостоятельное изучение. Оптические свойства квантовых точек. Лазеры. Оптические свойства металлических нанокластеров. Плазмонный резонанс. Оптические свойства полупроводниковых нанокластеров. Квантово-размерный эффект	4	2	-	4	10
8	Магнитные свойства наноструктур	Доменная структура ферромагнитных материалов. Суперпарамагнетизм. Энергия магнитной анизотропии. Анизотропия формы. Анизотропия механического напряжения. Обменная анизотропия. Перемагничивание однодоменных частиц. Когерентное вращение магнитных доменов. «Свертка» магнитных моментов с образованием вихревого поля. Магнитостатические взаимодействия нанонитей. Магнитные свойства нанослоевых композиций и фрактально-кластерных структур	4	2	-	4	10
Итого			36	18	18	36	108

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Исследование нанокластеров металлов на поверхности высокоориентированного пиролитического графита методом сканирующей туннельной микроскопии

2. Определение методом наноиндентирования механических свойств наноструктурированных материалов

3. Приготовление образцов наноструктурных материалов для исследования методами просвечивающей электронной микроскопии и электронографии

4. Исследование структуры и субструктуры наноструктурных материалов методом просвечивающей электронной микроскопии

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-5	Знать физические механизмы явлений, происходящих на наноуровне; влияние размерного фактора на электрические, теплофизические, оптические, химические, механические свойства материалов.	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь прогнозировать изменение физических свойств и структурных параметров материала при переходе в наноразмерное состояние; работать с математическим аппаратом квантовой механики	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками использования основных методов высокочувствительной сверхлокальной избирательной диагностики для изучения наносистем;	Решение прикладных задач в конкретной предметной области; проведение анализа данных, полученных по результатам диагностики физических и	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	методов расчета физических и структурных параметров наносистем	структурных параметров наносистем		
--	--	-----------------------------------	--	--

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 6 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-5	Знать физические механизмы явлений, происходящих на наноуровне; влияние размерного фактора на электрические, теплофизические, оптические, химические, механические свойства материалов.	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	Уметь прогнозировать изменение физических свойств и структурных параметров материала при переходе в наноразмерное состояние; работать с математическим аппаратом квантовой механики	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть навыками использования основных методов высокочувствительной сверхлокальной избирательной диагностики для изучения наносистем; методов расчета физических и структурных параметров наносистем	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

В каждом вопросе выберите 1 вариант ответа

1. Префикс «нано» означает:

- а. 10^{-3}
- б. 10^{-6}
- в. 10^{-9}
- г. 10^9

2. Как меняется средняя величина периода кристаллической решетки кристаллитов с уменьшением их размера

- а. снижается
- б. возрастает
- в. не изменяется

3. Наиболее устойчивой для малых кластеров является

- а. конфигурация со структурными «магическими числами»
- б. конфигурация с электронными «магическими числами»
- в. тип устойчивой конфигурации зависит только от природы материала

4. Критический размер кластера это

- а. размер, меньше которого, кластер термодинамически неустойчив
- б. размер, при котором доля поверхностных атомов превышает долю внутренних
- в. размер, при котором прекращает наблюдаться эффект структурных магических чисел

6. Какой из законов (правил) описывает механические свойства нанокристаллических материалов?

- а. Франка Ван-дер-Мерве
- б. Холла-Петча
- в. Мура
- г. Гука
- д. Гиббса

7. С уменьшением размера зерен материалов с дислокационным механизмом пластической деформации в крупнокристаллическом состоянии их твердость

- а. снижается во всем диапазоне размеров
- б. увеличивается во всем диапазоне размеров
- в. повышается, затем снижается
- г. снижается, затем повышается

8. Какой из дефектов кристаллического строения характерен преимущественно для нанокристаллических материалов

- а. двойники
- б. дисклинации
- в. винтовые дислокации
- г. фасетированные границы

9. Для каких нанообъектов наблюдается повышение температуры плавления при уменьшении характерного размера

- а. изолированные сферические наночастицы
- б. тонкие пленки тугоплавких металлов
- в. наночастицы в тугоплавкой матрице в случае некогерентных границ между частицами и матрицей
- г. наночастицы в тугоплавкой матрице в случае когерентных границ между частицами и матрицей

10. Для кристаллических полупроводниковых материалов с уменьшением размера зерен наблюдается

- а. снижение электропроводности и повышение теплопроводности
- б. повышение электропроводности и снижение теплопроводности
- в. снижение теплопроводности и электропроводности
- г. повышение электропроводности и теплопроводности

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Вычислить значения уровней энергии E_1 , E_2 и E_3 для бесконечно глубокой потенциальной ямы шириной 15 нм.

2. Вычислите, какой должна быть температура пленки толщиной 5 нм, чтобы появилась возможность наблюдения эффекта размерного квантования.

3. Оценить граничную толщину пленки, при которой существует возможность наблюдения явления размерного квантования, если подвижность электронов в ней равняется $2 \cdot 10^4 \text{ см}^2/(\text{с} \cdot \text{В})$.

4. Какой должна быть толщина пленки, при которой возможно наблюдение размерного квантования при комнатной температуре, если эффективная масса электрона $m^* = m_0/10$?

5. Какой должна быть температура пленки толщиной 5 нм, чтобы появилась возможность наблюдения эффекта размерного квантования?

6. Время жизни τ электрона на резонансном уровне определяется соотношением неопределенности Гейзенберга $\tau \approx \hbar/\Delta E$. Оно дает среднее время, по прошествии которого электрон туннелирует за пределы ямы. Предполагая, что ΔE равняется ширине на полувысоте кривой, определяющей максимум коэффициента прохождения, оценить время жизни резонансных уровней для кривой на рисунке 1.

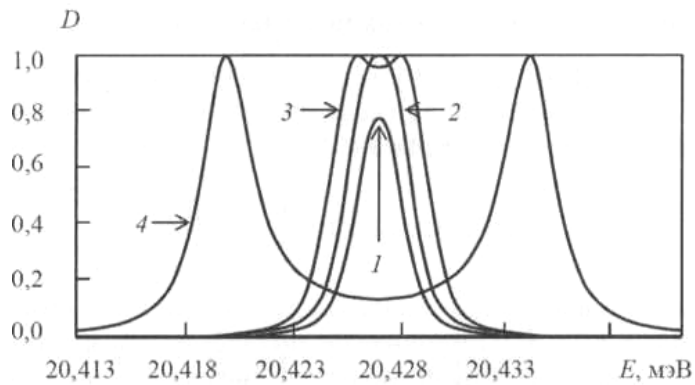


Рис.1. Зависимость коэффициента прохождения D от энергии электрона E_v структуре с тремя барьерами. Ширина крайних потенциальных барьеров: $L_k = W = 3$ нм. Ширина центрального потенциального барьера: $L = 2,5L_k$ (кривая 1), $L = 2,15L_k$ (кривая 2), $L = 1,9L_k$ (кривая 3), $L = 1,5L_k$ (кривая 4). Ширина потенциальных ям между барьерами: $W_1 = W_2 = W$. Высота потенциальных барьеров $U_0 = 0,1$ эВ

7. Показать, что газ электронов в меди ($n \approx 8,5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$, $m \approx 10^{-30} \text{ кг}$) при комнатной температуре можно рассматривать как вырожденный газ.

8. Показать, что в двух-, одно- и нульмерных структурах плотность электронных состояний в пространстве k равна $1/(2\pi)^2$, $1/(2\pi)$ и 1.

9. Концентрация электронов $n_e = 10^{23} \text{ см}^{-3}$. Какой должна быть индукция магнитного поля, чтобы первый уровень Ферми был полностью заселен?

10. Вычислить коэффициент прохождения электронного интерферометра, если площадь сечения соленоида равна 10^4 нм^2 , а индукция поля в соленоиде равнялась $B = 5$ Тл.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. По «светлопольному» ПЭМ изображению нанокристаллической керамики измерить и рассчитать средний размер, дисперсность наблюдаемых областей когерентного рассеяния.

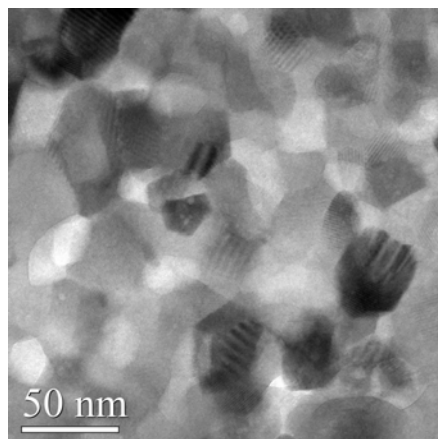


Рис. 2 Светлопольное ПЭМ-изображение нанокристаллической

керамики гидроксиапатита

2. По совокупности светлопольного и темнопольных ПЭМ изображений нанопорошка (рис. 3) измерить и рассчитать средний размер, дисперсность наблюдаемых областей когерентного рассеяния.

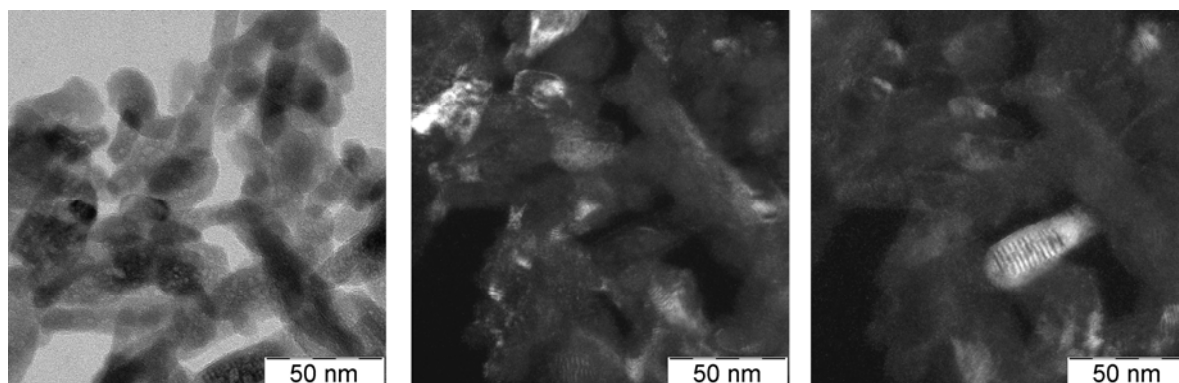


Рис. 3 Светлопольное и темнопольные изображения нанопорошка гидроксиапатита

3. По рентгеновской дифрактограмме нанопорошка определить фазовый состав (элементный состав порошка представлен Cu и O, длина волны рентгеновского излучения $\lambda_{\text{K}\alpha 1}=0,154 \text{ нм}$).

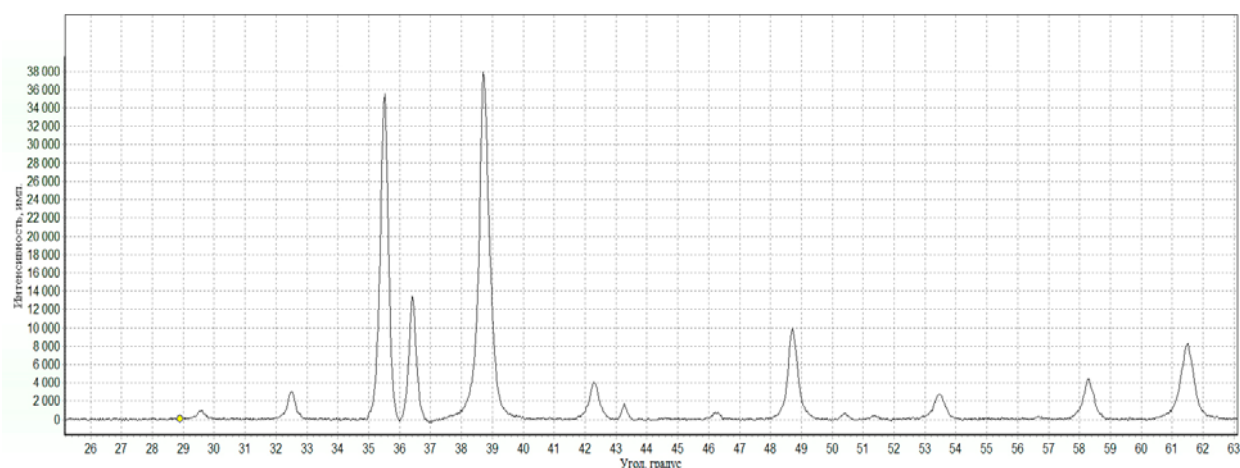


Рис. 4 Рентгеновская дифрактограмма нанокристаллических порошков, включающих Cu и O

4. По рентгеновской дифрактограмме (рис. 4) нанопорошка определить размер областей когерентного рассеяния

5. По рентгеновской дифрактограмме (рис. 4) нанопорошка определить весовое соотношение фаз.

6. По данным наноиндентирования определить размер частиц твердого раствора Fe-Si-P при котором наблюдается размерный эффект механических свойств: отклонение от соотношения Петча-Холла

№	Средний размер зерен	H, ГПа	E, ГПа
1	аморфн.	8,1	131,1
3	5 нм	6,9	96,7
4	10 нм	8,9	138,6

5	20 нм	14,2	188,3
6	50 нм	8,2	132,1

7. Какому из приповерхностных слоев фольги из твердого раствора Cu-Mo (ПЭМ-изображение среза на рис.5) соответствует нагрузочно-разгрузочная кривая 1, а какому кривая 2, полученная методом наноиндентирования (рис. 6)? Почему?

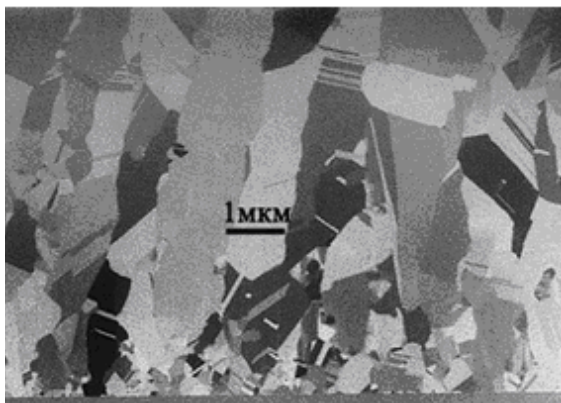


Рис. 5 ПЭМ-изображение поперечного среза фольги на основе твердого раствора Мо-Си, полученной методом вакуумного осаждения

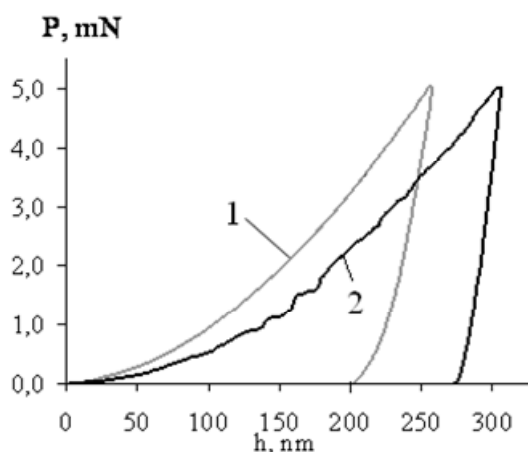


Рис. 6 Диаграммы Р-Н поверхности со стороны межфазной границы и свободной поверхности твердого раствора на основа Мо-Си, полученные методом наноиндентирования

8. По данным СЗМ оцените, в каком режиме получено изображение методом туннельной микроскопии: в режиме постоянного тока или в режиме постоянной высоты?

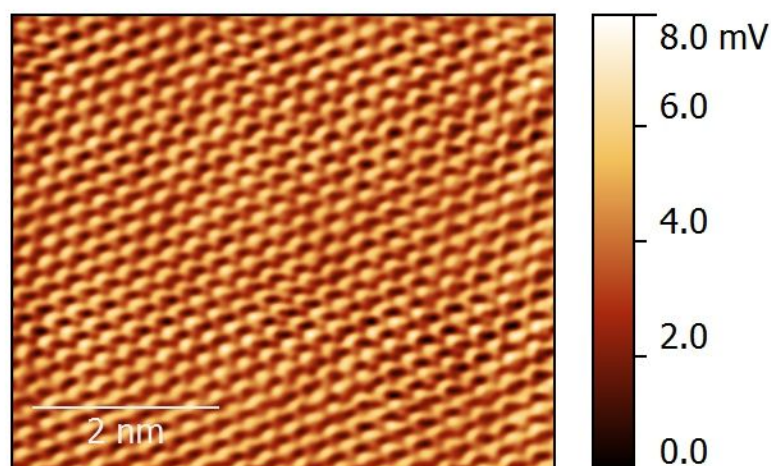


Рис.5 СЗМ-изображение поверхности пиролитического графита

9. По данным СЗМ (рис. 5) оцените период кристаллической решетки пиролитического графита

10. Пористый кремний представляет собой совокупность нанокристаллов и пор с размерами от единиц до сотен нанометров. Данный материал является в настоящее время объектом исследований многих научных лабораторий во всем мире, поскольку обладает уникальными структурными, оптическими, электронными и биологическими свойствами. Пористый кремний принято классифицировать в соответствии с принципом IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), который определяет тип пористого материала в зависимости от размера пор (Табл. 1).

Таблица 1 Классификация пористого кремния по размерам его пор.

Вид пористого кремния	Размер пор
<i>Микропористый (нанопористый)</i>	$\leq 2 \text{ нм}$
<i>Мезопористый</i>	$2\text{-}50 \text{ нм}$
<i>Макропористый</i>	$> 50 \text{ нм}$

Недавно было доказано существование равновесных свободных носителей заряда в нанокристаллах мезопористого кремния (мезо-ПК). Так, было обнаружено, что помимо полос локальных поверхностных колебаний в спектрах ИК-пропускания пленок мезо-ПК наблюдается поглощение ИК-излучения, связанное с наличием свободных носителей заряда (СНЗ).

Чем можно объяснить уменьшение концентрации свободных носителей заряда (СНЗ) в нанокристаллах мезопористого кремния по сравнению с объемным кремнием?

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Классификация нанообъектов: нульмерные, одномерные, двумерные, трехмерные структуры. Квантовые точки, нити, ямы.
2. Нанообъекты в твердом веществе, жидкостях и газах: металлические и молекулярные кластеры, коллоидные кластеры и наноструктуры, нанокристаллы, тонкие пленки, углеродные наноматериалы, нанокompозитные материалы.
3. Нанокластеры: теория зародышеобразования, структура, магические числа, теоретическая модель. Нанокристаллы: форма, размерный эффект структуры.
4. Табулярные наноструктуры. Углеродные нанотрубки.
5. Двумерные наноструктуры. Кинетика, термодинамика, механизмы роста пленок.
6. Наноструктурирование объемных материалов. Проблема стабильности наноструктурных материалов.
7. Физические принципы и возможности методов исследования структуры и состава наноструктурированных материалов: просвечивающая электронная микроскопия, электронография, сканирующая зондовая микроскопия.
8. Размерные эффекты в наноструктурных тонкопленочных и объемных материалах. Поверхностная энергия. Размерный эффект в термодинамических свойствах наноструктур. Фазовый размерный эффект. Структурный размерный эффект. Субструктурный размерный эффект.
9. Дефекты в наноструктурных материалах. Соотношение Петча-Холла. Размерный эффект в механических свойствах наноструктурных материалов. Пластичность. Высокотемпературная деформация. Сверхпластичность. Упругие свойства.
10. Размерные эффекты в квантовых наноструктурах. Зависимость зонной структуры от размера наночастиц. Размерное квантование энергии электронов. Условия наблюдения квантово-размерных эффектов. Структуры с низкоразмерным электронным газом. Энергетический спектр в системах с пониженной размерностью (0D – квантовых точках, 1D – квантовых нитях, 2D – квантовых ямах).
11. Плотность состояний в электронных системах с пониженной размерностью. Статистика носителей в низкоразмерных структурах. Экситоны в низкоразмерных структурах. Примесные состояния в низкоразмерных структурах.
12. Распределение и транспорт носителей заряда в квантово-размерных структурах. Особенности транспорта электронов в наноструктурах. Время релаксации и подвижность. Механизмы рассеяния.
13. Дробный и целочисленный квантовый эффект Холла.
14. Баллистический транспорт. Туннелирование носителей заряда через потенциальные барьеры. Одноэлектроника.
15. Оптические свойства металлических нанокластеров. Плазмонный резонанс.

16. Оптические свойства полупроводниковых нанокластеров. Кванторазмерный эффект.

17. Фотонные нанокристаллы.

18. Метаматериалы.

19. Магнитные свойства наноструктур. Доменная структура ферромагнитных материалов. Суперпарамагнетизм. Энергия магнитной анизотропии. Анизотропия формы. Анизотропия механического напряжения. Обменная анизотропия.

20. Перемагничивание однодоменных частиц. Когерентное вращение магнитных доменов. «Свертка» магнитных моментов с образованием вихревого поля. Спинтроника.

7.2.5. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 15 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 25.

«Зачет» ставится в случае, если студент набрал 16 и более баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение	ПК-5	Защита реферата
2	Структурная организация нанообъектов	ПК-5	Тест, защита лабораторной работы
3	Методы исследования строения наноматериалов	ПК-5	Тест, защита лабораторной работы
4	Классические размерные эффекты	ПК-5	Тест, защита лабораторной работы
5	Размерное квантование и квантоворазмерные наноструктуры. Статистика носителей в квантоворазмерных наноструктурах	ПК-5	Тест
6	Кинетические эффекты в квантоворазмерных наноструктурах	ПК-5	Тест
7	Оптические свойства квантово-размерных структур	ПК-5	Тест
8	Магнитные свойства наноструктур	ПК-5	Тест

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется

проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченнос ть
8.1.1. Основная литература				
8.1.1.1	Н.А. Сергеев, Д.С. Рябушкин	Физика наносистем	2016	0,8
8.1.1.2	Щука А.А.	Электроника: учеб. пособие	2005 печатн.	0,3
8.1.1.3	Гусев, А.И.	Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии	2009 печатн.	0,6
8.1.1.4	Д. М. Мартинес-Дуарт, Р. Д. Мартин-Палма, Ф. Агулло-Руела.	Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники	2009 печатн.	0,2
8.1.2. Дополнительная литература				
8.1.2.1	И.П. Суздалев	Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов	2006 печатн.	0,2
8.1.2.2	Головин, Ю.И.	Наномир без формул	2012 печатн.	0,4
8.1.2.3	С. А. Гриднев	Нелинейные явления в нано- и микрогетерогенных системах	2012 печатн.	0,4
8.1.2.4	И. В. Золотухин, О. В. Стогней	Физика наносистем: графены и гранулированные нанокompозиты :	2011 печатн.	0,9
8.1.2.5	Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля	Наноструктурные материалы : учеб. пособие	2005 печатн.	0,2
8.1.2.6	С.А. Рыков	Сканирующая зондовая микроскопия полупроводниковых материалов и	2001	0,2
8.1.2.7	А. Н. Пихтин	Оптическая и квантовая электроника : учебн. пособие	2001 печатн.	0,3

8.1.2.8	В. М. Иевлев	Методы исследования атомной структуры и субструктуры	2001 печатн.	1,0
8.1.2.9	В. М. Иевлев, А. В. Бугаков, В. И. Трофимов	Рост и субструктура конденсированных пленок: учебн.	2000 печатн.	0,6
8.1.3 Методические разработки				
8.1.3.1	А.В. Костюченко	Методические указания к лабораторным работам № 1-4 по курсу "Физика наносистем" для студентов направления "Компоненты микро- и наносистемной техники» (бакалавры) очной формы обучения	2015 электр.	1,0

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

8.2.1	Компьютерные практические работы:
	– Обработка результатов сканирующей туннельной микроскопии с использованием программы «Image_Analysis_P9» Работа с базой межплоскостных расстояний «Powder Diffraction File Alphabetical Index Inorganic Compounds»
8.2.2	Мультимедийные видеофрагменты:
	– Лекции с сайта http://www.nanometer.ru
8.2.3	Мультимедийные лекционные демонстрации:
	– Презентации по курсу физика наносистем

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

9.1	Специализированная лекционная аудитория , оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой
9.2	Учебные лаборатории: Просвечивающей электронной микроскопии и электронографии
9.3	Дисплейный класс , оснащенный компьютерными программами
9.4	Кабинеты , оборудованные проекторами
9.5	Натурные лекционные демонстрации: – Просвечивающий электронный микроскоп – Сканирующий зондовый микроскоп – Нанотвердомер

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Физика наносистем» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических

навыков исследования строения и расчета физических свойств наносистем. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начинаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.