

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Физика поверхности

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

11.04.04 - Электроника и нанoeлектроника

Направленность образовательной программы

Твердотельная электроника и нанoeлектроника

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.05.02 Физика поверхности относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-4: Готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, и способность обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	ПК-4.1: Знает тенденции и перспективы развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники ПК-4.2: Способен рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и наноэлектроники ПК-4.3: Имеет навыки обоснованного выбора теоретических и экспериментальных методов исследования изделий микро- и наноэлектроники	ПК-4.1: Знать новейшие достижения физики поверхности твердотельного магнетизма и современные проблемы физики наноструктур и физики поверхности ПК-4.2: Уметь использовать новейшие достижения современной физики поверхности в теоретической и экспериментальной научно-исследовательской работе ПК-4.3: Владеть основными и передовыми методами решения практических задач физики поверхности.	Задачи	Экзамен: Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	4
Часов по учебному плану	144
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16

- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2
самостоятельная работа	74
Промежуточная аттестация	36 Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Основы двумерной кристаллографии	14	2	2	4	10
Электронные свойства поверхности	20	2	2	4	16
Экспериментальные методы исследования поверхности	28	6	6	12	16
Атомная структура чистых поверхностей с адсорбатами	20	2	2	4	16
Элементарные процессы на поверхности	24	4	4	8	16
Аттестация	36				
КСР	2				2
Итого	144	16	16	34	74

Содержание разделов и тем дисциплины

Основы двумерной кристаллографии
 Электронные свойства поверхности
 Экспериментальные методы исследования поверхности
 Атомная структура чистых поверхностей с адсорбатами
 Элементарные процессы на поверхности

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

а) основная литература:

1) К. Оура, В.Г. Лифшиц, А.А. Саранин, А.В. Зотов, М. Катаяма, Введение в физику поверхности. М.: Наука, 2006. – 490 с.

2). В.Г. Дубровский, Теория формирования эпитаксиальных наноструктур. М.: Физматлит, 2009. – 351 с/ —

Режим доступа: сайт Российского фонда фундаментальных исследований
http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_72020.

3) Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10 т. Т. V. Статистическая физика (часть 1). М.: Физматлит 2010. – 616 с.

Режим доступа: ЭБС «Консультант студента»
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922100540.html>.

4) Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10 т. Т. X. Фи-зическая кинетика. М.: Физматлит 2007. – 537 с.

б) дополнительная литература:

1) Н. Ашкрофт, Н. Мермин, Физика твердого тела [в 2-х т.]. М.: Мир, 1979.

2) Ч. Киттель, Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978 – 792 с.

3) П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов, Физика твердого тела. М.: Высш. шк., 2000 – 494 с.

4) Д. Вудраф, Т. Делчар, Современные методы исследования поверхности. М.: Мир, 1989 – 564 с.

5) С.И. Chen, Introduction to Scanning Tunneling Microscopy. Oxford University Press, 1993 – 412 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)

1) Surface Science <https://www.journals.elsevier.com/surface-science>

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

Задача 1. Постройте плоскости (100), (110) и (111) для кристалла с гранецентрированной кубической решеткой. Для атомных плоскостей указанных типов вычислите расстояние между плоскостями и нарисуйте расположение атомов для первого и второго атомных слоев, отсчитывая номера слоев от поверхности.

Задача 2. Для гексагональной двумерной решетки нарисуйте суперструктуры, соответствующие следующим матричным формам: $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$, $\begin{pmatrix} 2 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$, $\begin{pmatrix} 2 & 0 \\ -1 & 1 \end{pmatrix}$, а также запишите эквивалентные выражения в записи Вуда.

Задача 3. Используя построение Эвальда, определите масштаб картины дифракции от поверхности с квадратной решеткой с периодом 3 А. Сколько дифракционных рефлексов будет видно на картине ДМЭ при энергии 50 эВ в системе с 120° экраном?

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий

Оценка	Критерии оценивания
	базового уровня сложности
не зачтено	Обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели	Имеется минимальный набор навыков для решения	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартны	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартны	Продemonстрированы навыки при решении нестандарт	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартны

	вследствие отказа обучающегося от ответа	место грубые ошибки	стандартны х задач с некоторым и недочетами	х задач с некоторым и недочетами	х задач без ошибок и недочетов	ных задач без ошибок и недочетов	х задач
--	--	---------------------	---	----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	---------

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Низкоиндексные плоскости кристаллов с решетками следующих типов: простая кубическая, гранецентрированная кубическая (г.ц.к.), объемноцентрированная кубическая (о.ц.к.), гексагональная плотноупакованная (г.п.у.) и решетки типа алмаза.
2. Двумерные решетки Бравэ и соответствующие им обратные решетки. Поверхностная зона Бриллюэна.
3. Суперструктуры на поверхности кристаллов. Матричная запись и запись Вуда для описания суперструктур.
4. Поверхностные электронные состояния в модели почти свободных электронов (состояния Шокли).
5. Поверхностные электронные состояния в модели сильной связи (состояния Тамма).

6. Интерференция электронов двумерного электронного газа вблизи границы.
7. Зарождение сверхпроводимости в неограниченном кристалле и в полуограниченном кристалле с плоской поверхностью Поверхностная сверхпроводимость.
8. Структурный фазовый переход в одномерной цепочке атомов (переход Пайерлса) и перестройка энергетического спектра.
9. Принципы работы насосов различных типов (форвакуумные, турбомолекулярные, ионные, сублимационные, масляные, криогенные). Методы измерения уровня вакуума.
10. Дифракция медленных электронов на поверхности.
11. Дифракция быстрых электронов на поверхности.
12. Задача Терсоффа-Хаманна и связь туннельной проводимости и локальной плотности электронных состояний.
13. Основные компоненты и принцип работы сканирующего туннельного микроскопа. Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия.
14. Фотоэлектрический эффект и фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением.
15. Реконструкция в металлах на примере реконструкции типа herring-bone на поверхности Au(111).
16. Реконструкция в полупроводниках на примере реконструкций Si(111) 2×1 и Si(111) 7×7 .
17. Условия равновесия двух фаз и область устойчивости для тонкой плёнки.
18. Механизмы роста тонких плёнок и островков. Теория нуклеации Беккера-Деринга-Зельдовича-Френкеля.
19. Оствальдовское созревание. Коалесценция островков

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все

Оценка	Критерии оценивания
	основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Введение в физику поверхности / [отв. ред. В. И. Сергиенко] ; РАН, Дальневост. отд-ние, Ин-т автоматизации и процессов управления. - М. : Наука, 2006. - 490 с. - Библиогр.: с. 464 - 481. - ISBN 5-02-034355-2 : 50-00., 1 экз.
2. Дубровский Владимир Германович. Теория формирования эпитаксиальных наноструктур. - М. : Физматлит, 2009. - 352 с. - (Фундаментальная и прикладная физика). - ISBN 978-5-9221-1069-3 : 105.00., 1 экз.
3. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика : [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов] : в 10 т. Т. 5. Статистическая физика, ч. 1. - 4-е изд., испр. - М. : Наука, 1995. - 605 с. : ил. - 25000.00., 1 экз.
4. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика : учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов : в 10 т. Т. 10. Физическая кинетика / под ред. Л. П. Питаевского. - 2-е изд., испр. - М. : Физматлит, 2001. - 536 с. - ISBN 5-9221-0125-0 (т. 10). - ISBN 5-9221-0053-X : 167.00.,

3 экз.

Дополнительная литература:

1. Ашкрофт Н. Физика твердого тела : в 2 т. [Т.] 1 / пер. с англ. А. С. Михайлова ; под ред. М. И. Каганова. - М. : Мир, 1979. - 399 с. : ил. - 2.60., 4 экз.
2. Ашкрофт Н. Физика твердого тела : в 2 т. [Т.] 2 / пер. с англ. К. И. Кугеля и А. С. Михайлова ; под ред. М. И. Каганова. - М. : Мир, 1979. - 422 с. : ил. - 2.90., 5 экз.
3. Киттель Чарлз. Введение в физику твердого тела / пер. с 4-го америк. изд.: А. А. Гусева, А. В. Пахнева ; под общ. ред. А. А. Гусева. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. - 791 с. : ил. - 2.10., 28 экз.
4. Павлов Павел Васильевич. Физика твердого тела : [учеб. пособие для вузов по специальности "Физика"]. - М. : Высшая школа, 1985. - 384 с. : ил. - 1.10., 34 экз.
5. Вудраф Д. Современные методы исследования поверхности / пер. с англ. Е. Ф. Шека ; под ред. В. И. Раховского. - М. : Мир, 1989. - 568 с. : ил. - 4.90., 3 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Surface Science <https://www.journals.elsevier.com/surface-science>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории. Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 11.04.04 - Электроника и наноэлектроника.

Автор(ы): Аладышкин Алексей Юрьевич, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Павлов Дмитрий Алексеевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 09.01.2024, протокол № б/н.