

ИНСТИТУТ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, СПИНТРОНИКЕ И ФОТОНИКЕ

КАФЕДРА ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

ОДОБРЕНО НТС ИНТЭЛ

Протокол № 03/3-21

от 31.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 11.04.04 Электроника и микроэлектроника

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
1	5	180	8	16	24	96	0	Э
Итого	5	180	8	16	24	0	96	0

АННОТАЦИЯ

В ходе преподавания данной дисциплины излагаются физические основы современных экспериментальных методов физики твердого тела, позволяющих определять состав, структуру и различные электрофизические, фотоэлектрические, оптические, электронные и другие характеристики исследуемых образцов.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель преподавания данной дисциплины состоит в изложении физических основ современных экспериментальных методов физики твердого тела, позволяющих определять состав, структуру и различные электрофизические, фотоэлектрические, оптические, электронные и другие характеристики исследуемых образцов.

Основными задачами освоения дисциплины являются:

- получение и закрепление теоретических и практических знаний в области физических явлений и процессов, лежащих в основе наиболее важных экспериментальных методов физики твердого тела;
- понимание принципов устройства и работы типовых приборов и аппаратуры, используемых в данных методах;
- приобретение знаний и навыков по оценке возможностей методов и их практическому использованию в исследованиях физических свойств материалов.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Для успешного освоения дисциплины студент должен обладать базовыми знаниями в области физики твёрдого тела.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
разработка рабочих планов и программ проведения научных	Материалы, компоненты, электронные	ПК-1 [1] - способен формулировать цели и задачи научных	З-ПК-1[1] - Знать: современное состояние, тенденции

<p>исследований и технических разработок, подготовка отдельных заданий для исполнителей</p>	<p>приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и нанoeлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и нанoeлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>	<p>исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>и перспективы развития электроники, нанoeлектроники и смежных областей науки и техники. ; У-ПК-1[1] - Уметь: формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники, нанoeлектроники, физики конденсированных сред и других смежных областей науки и техники; В-ПК-1[1] - Владеть: навыками обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач в области электроники и нанoeлектроники</p>
<p>разработка методики, проведение исследований и измерений параметров и характеристик изделий электронной техники, анализ их результатов</p>	<p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и</p>	<p>ПК-3 [1] - способен осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать</p>	<p>З-ПК-3[1] - Знать: принципы планирования и методов автоматизации эксперимента и проектирования электронных устройств ; У-ПК-3[1] - Уметь: применять информационно-измерительные</p>

	<p>технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и нанoeлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и нанoeлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>	<p>навыками измерений в реальном времени</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.007</p>	<p>комплексы для автоматизации эксперимента в области электроники и нанoeлектроники.; В-ПК-3[1] - Владеть: навыками измерений характеристик приборов и устройств электроники и нанoeлектроники в реальном времени.</p>
<p>организация и проведение экспериментальных исследований, технологических и измерительных операций, необходимых для создания и изучения свойств материалов, элементной базы и приборов электроники и нанoeлектроники</p>	<p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и нанoeлектроники. Современное программное и</p>	<p>ПК-4 [1] - способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>3-ПК-4[1] - Знать: современные экспериментальные методы в области физики конденсированного состояния, электроники и нанoeлектроники ; У-ПК-4[1] - Уметь: проводить экспериментальные исследования в электронике и нанoeлектронике с применением современных средств и методов.; В-ПК-4[1] - Владеть: компьютерными технологиями в применении к экспериментальным</p>

	<p>информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектроники. Инновационные технические решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.</p>		<p>исследованиям в электронике и наноэлектронике</p>
<p>анализ результатов научных исследований, формулирование научно-обоснованных выводов, подготовка научных публикаций и защита результатов интеллектуальной деятельности в области электроники и наноэлектроники,</p>	<p>Материалы, компоненты, электронные приборы, устройства, установки, методы их исследования, проектирования и конструирования. Технологические процессы производства, диагностическое и технологическое оборудование, математические модели, алгоритмы решения типовых задач в области электроники и наноэлектроники. Современное программное и информационное обеспечение процессов моделирования и проектирования изделий электроники и наноэлектроники. Инновационные технические</p>	<p>ПК-5 [1] - способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011</p>	<p>3-ПК-5[1] - Знать: современные теоретические и экспериментальные достижения в области электроники и наноэлектроники ; У-ПК-5[1] - Уметь: делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем.; В-ПК-5[1] - Владеть: навыками подготовки научных публикаций и заявок на изобретения</p>

	решения в сфере базовых постулатов проектирования, технологии изготовления и применения электронных приборов и устройств.		
--	---	--	--

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>1 Семестр</i>						
1	Введение в физику твердого тела	1-8	4/8/12		25	УО-8	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
2	Рентгеноструктурный анализ и микроскопия	9-16	4/8/12		25	к.р-16	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1,

							3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		8/16/24		50		
	Контрольные мероприятия за 1 Семестр				50	Э	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
к.р	Контрольная работа

УО	Устный опрос
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недел и	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем. , час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	8	16	24
1-8	Введение в физику твердого тела	4	8	12
1 - 2	О курсе «Экспериментальные методы физики конденсированного состояния» Эксперимент и теория в физике твердого тела. Общие соображения об объекте исследования – конденсированном состоянии вещества.	Всего аудиторных часов		
		4	4	3
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 5	Рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ для качественного и количественного определения фазового состава и кристаллической структуры Физика рентгеновского излучения, лабораторные источники рентгеновского излучения, монохроматизация рентгеновского излучения, регистрация рентгеновского излучения, взаимодействие излучения с периодически расположенными в пространстве центрами рассеяния. Рентгеновские дифрактометры, получение и расчет рентгеновских дифрактограмм поликристаллов, качественный фазовый анализ, дифракционное исследование тонких пленок и эпитаксиальных гетероструктур, малоугловое рассеяние рентгеновских лучей и его использование в физике твердого тела, исследование текстуры кристаллов.	Всего аудиторных часов		
		0	2	3
		Онлайн		
		0	0	0
6 - 8	Оптическая микроскопия и интерферометрия История оптической микроскопии, оптические компоненты микроскопа, источники освещения, основные характеристики оптического микроскопа, увеличение, поле зрения, глубина резкости, классификация оптических микроскопов: микроскопы с плоским полем, стереоскопические микроскопы, микроскопы проходящего света, инвертированные микроскопы проходящего света, микроскопы отраженного света, инвертированные микроскопы отраженного света, металлографические микроскопы, люминесцентные микроскопы, поляризационные микроскопы. Методы световой микроскопии: наблюдение в проходящем и отраженном свете, метод фазового контраста, метод темного поля, поляризационная микроскопия, области применения. Интерферометрия: двулучевая интерферометрия, многолучевая интерферометрия, интерферометрия белого света, интерферометры и оптические профилометры, применение интерферометрии.	Всего аудиторных часов		
		0	2	6
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	Рентгеноструктурный анализ и микроскопия	4	8	12
9 - 11	Методы электронной микроскопии	Всего аудиторных часов		

	<p>Просвечивающая электронная микроскопия: физические основы электронной микроскопии и дифракции электронов, взаимодействия электронов с веществом, резерфордское рассеяние, понятие о предельной толщине прозрачного образца, дифракция от линейной и трех-мерной решетки, метод микродифракции, геометрия дифракционной картины электронов, типы электронограмм.</p> <p>Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ: энергетическая зависимость для вторичных и обратно рассеянных электронов, угловая зависимость выхода вторичных, обратно рассеянных электронов, характеристика основных типов контраста изображения в РЭМ, изображение во вторичных электронах, изображение в упруго отраженных электронах, увеличение, разрешение и глубина фокуса РЭМ.</p> <p>Рентгеновский микроанализ.</p>	1	2	3
		Онлайн		
		0	0	0
12 - 14	<p>Сканирующая зондовая микроскопия</p> <p>Конструкция и физические принципы работы сканирующих зондовых микроскопов: туннельный и силовой сенсор; виды зондов; принципы работы и характеристики СЗМ сканеров; формирование и первичная обработка СЗМ изображений; защита зондовых микроскопов от вибраций и акустических шумов.</p> <p>Основные методы сканирующей зондовой микроскопии: сканирующая туннельная микроскопия; атомно-силовая микроскопия; магнитно-силовая микроскопия; ближнепольная оптическая микроскопия; преимущества и недостатки сканирующей зондовой микроскопии по отношению к другим методам диагностики поверхности.</p> <p>Артефакты СЗМ изображения и методы борьбы с ними, статистический анализ СЗМ данных, Фурье-анализ и фильтрация СЗМ изображений.</p>	Всего аудиторных часов		
		1	2	6
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	<p>Электрофизические методы измерения параметров полупроводников</p> <p>Физические основы и методика измерений удельного сопротивления материалов (двух-, трех- и четырехзондовые методы).</p> <p>Физические основы эффекта Холла и методы его измерения, определение параметров полупроводников из измерений температурной зависимости эффекта Холла.</p> <p>Емкостная спектроскопия полупроводников: физические основы емкостных измерений и эффект поля, определение параметров полупроводниковых структур из вольт-фарадных характеристик, емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках.</p>	Всего аудиторных часов		
		2	4	3
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс

ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>1 Семестр</i>
3 - 5	Рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ для качественного и количественного определения фазового состава и кристаллической структуры Изучение взаимодействия излучения с периодически расположенными в пространстве центрами рассеяния.
6 - 8	Оптическая микроскопия и интерферометрия Освоение методов световой микроскопии: наблюдение в проходящем и отраженном свете, метод фазового контраста, метод темного поля, поляризационная микроскопия, области применения.
12 - 14	Сканирующая зондовая микроскопия Сканирующая зондовая микроскопия
15 - 16	Электрофизические методы измерения параметров полупроводников Эффект Холла

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы используются следующие технологии:

- лекции по курсу традиционного типа, с применением проектора и презентаций по избранным темам;
- практические занятия;
- лабораторные работы;
- самостоятельная работа студентов.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1	3-ПК-1	Э, УО-8, к.р-16

	У-ПК-1	Э, УО-8, к.р-16
	В-ПК-1	Э, УО-8, к.р-16
ПК-3	З-ПК-3	Э, УО-8, к.р-16
	У-ПК-3	Э, УО-8, к.р-16
	В-ПК-3	Э, УО-8, к.р-16
ПК-4	З-ПК-4	Э, УО-8, к.р-16
	У-ПК-4	Э, УО-8, к.р-16
	В-ПК-4	Э, УО-8, к.р-16
ПК-5	З-ПК-5	Э, УО-8, к.р-16
	У-ПК-5	Э, УО-8, к.р-16
	В-ПК-5	Э, УО-8, к.р-16

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – <i>«отлично»</i>	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – <i>«хорошо»</i>	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – <i>«удовлетворительно»</i>	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – <i>«неудовлетворительно»</i>	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут

			продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.
--	--	--	---

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ П 85 Наноматериалы и нанотехнологии : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ Г 96 Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2009
3. ЭИ С 81 Физика рентгеновского излучения : , Санкт-Петербург: Лань, 2022
4. ЭИ Э 94 Эффект Холла в германии, легированном золотом : Лабораторный практикум, Москва: НИЯУ МИФИ, 2020
5. 621.39 М64 Основы сканирующей зондовой микроскопии : учеб. пособие для вузов, В. Л. Миронов, М.: Техносфера, 2004

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Основное внимание студентов должно быть сосредоточено на экспериментальных методах, применяемых в физике конденсированного состояния: рентгеноструктурном и рентгенофазовом анализе, растровой и просвечивающей электронной микроскопии, сканирующей зондовой микроскопии. Кроме того, рекомендуется материал каждой лекции прорабатывать непосредственно в день, когда она была прочтена, и в случае наличия вопросов обращаться к преподавателю.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Занятия по дисциплине «Экспериментальные методы физики конденсированного состояния» состоят из четырёх частей:

- лекции;
- лабораторные работы;
- практические занятия;
- самостоятельная работа студентов.

В ходе преподавания дисциплины решаются следующие задачи:

- контроль и управление процессом приобретения обучающимися знаний, умений и навыков, предусмотренных в рамках данного курса;
- контроль и оценка степени освоения общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций предусмотренных в рамках данного курса;
- обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности через совершенствование традиционных и внедрение инновационных методов обучения в образовательный процесс в рамках данного курса.

Автор(ы):

Рындя Сергей Михайлович