

Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт сильноточной электроники
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИСЭ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ
директор ИСЭ СО РАН
академик РАН



Н. А. Ратахин Н. А. Ратахин

«24» августа 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
ДИСЦИПЛИНЫ
«Методы анализа структуры и свойств материалов»

основных профессиональных образовательных программ высшего образования —
программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре
по направлениям подготовки кадров высшей квалификации

№ п/п	Направление подготовки	Наименование ОПОП (профиль подготовки)	Место дисциплины в учебном плане
1	03.06.01 Физика и астрономия	Физическая электроника	Вариативная часть, дисциплина по выбору

1. Общая характеристика дисциплины

1.1. Место дисциплины в структуре ООП

Перечень основных профессиональных образовательных программ высшего образования — программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлениям подготовки кадров высшей квалификации, в учебные планы которых входит данная дисциплина, и ее место в учебном плане обозначены на титульном листе настоящей рабочей программы.

В рамках дисциплины рассматриваются основные подходы и представления современных методов выявления и установления кристаллической структуры, элементного и фазового состава конденсированных систем: дифракционные методы (рентгеновское, нейтронное, синхротронное излучение, регистрация дифрактограмм, определение параметров кристаллической решётки, сравнение результатов экспериментов с измерением эталонных образцов и данными, имеющимися в справочниках); оптическая, сканирующая и электронная дифракционная микроскопия; зондовая микроскопия, сканирующая туннельная микроскопия, атомно-силовая микроскопия (элементный и фазовый состав, дефектная субструктура, морфология кристаллитов, кристаллогеометрия); оже- эмиссионная и абсорбционная спектроскопия; применение компьютерных программ для обработки экспериментальных результатов.

Для успешного освоения дисциплины аспирант должен знать: общую физику, физику твердого тела, основы классической электродинамики и физики пучков заряженных частиц. Аспирант должен владеть аппаратом математического анализа, знать основные уравнения математической физики.

Для успешного освоения дисциплины аспиранту необходимо знать общую физику и математический анализ в объеме, предусмотренном для магистров физики, основы химии, кристаллографии, материаловедения; иметь навык расчетов с использованием персонального компьютера.

1.2. Цели и задачи освоения дисциплины

1. Формирование у аспирантов глубоких и разносторонних знаний о физических явлениях и механизмах, составляющих основу современных методов исследования атомно-кристаллической структуры материалов.

2. Формирование умений и навыков определять диагностические методы, наиболее эффективные при решении тех или иных задач физики твердого тела, осознанно применять эти методы, выполнять расчеты и анализировать данные, полученные в результате диагностики.

3. Приобретение опыта работы с диагностическим оборудованием, применяемым в физике твердого тела.

1.3. Формируемые компетенции

ОПК-1: Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.

ПК-1: Наличие глубоких и разносторонних знаний о физических явлениях и механизмах, составляющих основу современных методов исследования атомно-кристаллической структуры материалов (как составляющая профессиональной компетенции ПК-1 в ООП, в состав которой включается настоящая дисциплина).

ПК-2: Наличие умений и навыков определять диагностические методы, наиболее эффективные при решении тех или иных задач физики твердого тела, осознанно применять эти методы, выполнять расчеты и анализировать данные, полученные в результате диагностики (как составляющая профессиональной компетенции ПК-2 в ООП, в состав которой включается настоящая дисциплина).

УК-1: Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

УК-2: Способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки.

УК-3: Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач.

Таблица соответствия компонентов фонда оценочных средств (ФОС) по дисциплине формируемым компетенциям приведена в п. 5.2 рабочей программы.

2. Структура и содержание дисциплины

2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часов).

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов, и их трудоемкость (в часах)		
		Лекции	Практика	Самостоятельная работа
1	Введение в дисциплину	2	2	2
2	Дифракционные методы исследования: рентгеноструктурный анализ	6	6	6
3	Дифракционные методы исследования: нейтронография	2	0	2
4	Дифракционные методы исследования: просвечивающая электронная микроскопия	16	14	16
5	Спектральные (микронзондовые) методы исследования	2	0	2
6	Методы исследования поверхности	4	8	4
7	Практика применения методов структурного анализа	4	6	4
	ИТОГО	36	36	36

2.2. Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий

Порядковый номер лекции	Раздел, тема учебного курса, содержание лекции	Трудоемкость	
		час.	зач. ед.
	ПЕРВЫЙ СЕМЕСТР	36	1
	Раздел 1. Введение в дисциплину	2	0,055
1	<u>Тема 1.1. Общие представления о методах исследования структуры материалов.</u> Основной набор физических методов как единая система, позволяющая измерить или вычислить большинство из известных свойств, характеристик и параметров твердых тел: основные знания и навыки, приобретаемые студентами; физические явления, лежащие в основе методов; принципиальные и реальные возможности различных методов; особенности методик, требования к исследуемым образцам и используемой аппаратуре (приборам).	2	0,055
	Раздел 2. Дифракционные методы исследования: рентгеноструктурный анализ	6	0,17
2	<u>Тема 2.1. Физика рентгеновских лучей</u> Способы получения и природа рентгеновских лучей. Характеристический	2	0,055

	спектр. Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Методы защиты от воздействия рентгеновских лучей. Методы регистрации рентгеновских лучей, детекторы рентгеновского излучения. Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах. Кинематическое приближение. Рассеяние рентгеновских лучей атомным рядом, плоскостью, пространственной решеткой. Уравнение Лауэ, формула Вульфа-Брегга. Дифракция рентгеновских лучей в обратном пространстве. Построение Эвальда.		
3	<u>Тема 2.2. Методы рентгеноструктурного анализа монокристаллов</u> Методы неподвижного и вращающегося кристалла. Представление методов в обратном пространстве. Области применения методов. Методы рентгеноструктурного анализа поликристаллов. Метод Дебая. Представление метода в обратном пространстве. Техника получения рентгенограмм. Рентгеновские камеры и дифрактометры. Индексирование рентгенограмм поликристаллов аналитическим и графическим методами.	2	0,055
4	<u>Тема 2.3. Качественный фазовый анализ</u> Картотека JCPDS. Методы количественного фазового анализа. Чувствительность фазового анализа. Анализ фазового состава керамических материалов после различных видов обработки.	2	0,055
Раздел 3. Дифракционные методы исследования: нейтронография		2	0,055
5	<u>Тема 3.1. Особенности рассеяния нейтронов кристаллами</u> Конструкция нейтронного дифрактометра. Получение нейтронограмм и основные области применения нейтронографии. Структурная и магнитная нейтронографии.	2	0,055
Раздел 4. Дифракционные методы исследования: просвечивающая электронная микроскопия		16	0,5
6	<u>Тема 4.1. Взаимодействие электронов с веществом</u> Рассеяние электронов. Генерация вторичных электронов. Медленные и быстрые вторичные электроны. Оже- электроны. Генерация электронно-дырочных пар и катодоллюминесценция. Генерация плазмонов и фононов.	2	0,055
7	<u>Тема 4.2. Конструкция электронного микроскопа</u> Оптическая схема и принцип действия. Техника электронной микроскопии. Методы приготовления объектов исследования. Электронография. Принципы дифракции быстрых электронов.	2	0,055
8	<u>Тема 4.3. Представление дифракционной картины в обратном пространстве</u> Построение сечений обратных решеток кристаллов. Индексирование микроэлектронограмм.	2	0,055
9	<u>Тема 4.4. Электронно-микроскопические изображения</u> Теория дифракционного контраста. Экстинкционная длина. Формирование изображений в светлом и темном полях	2	0,055
10	<u>Тема 4.5. Спектрометрия в просвечивающей электронной микроскопии</u> Рентгеновская спектрометрия (XEDS). Спектрометры рентгеновского излучения. Полупроводниковые детекторы (ППД) рентгеновского излучения (РИ).Arteфакты XEDS. Пространственное разрешение в XEDS. Спектрометрия потерь энергии электронов (EELS). Пик нулевых потерь. Малые потери электронов. Область больших потерь.	2	0,055
11	<u>Тема 4.6. Применение электронной микроскопии</u> Локальный фазовый анализ. Определение ориентационного соотношения кристаллов. Исследование дислокационной структуры. Исследование гетерофазных структур. Виды контраста на выделениях второй фазы. Влияние частиц второй фазы на картину дифракции.	2	0,055
12	<u>Тема 4.7. Методы и способы изготовления объектов исследования в просвечивающей электронной микроскопии</u> Сетки, шайбы, мембраны. Подготовка самоподдерживающихся образцов. Электролитическая полировка, ионное травление. Ультрамикротомия. Диспергирование. Скалывание. Метод реплик и экстракции. Селективное	2	0,055

	химическое травление. Техника безопасности.		
13	<u>Тема 4.1. Принципы рентгеноспектрального метода</u> Устройство рентгеноспектрального микроанализатора. Волновой и энерго-дисперсионный детекторы. Характеристики и возможности микро-рентгеноспектрального анализа. Техника применения рентгеноспектрального микроанализатора. Качественный анализ химического состава в точке, по направлению, по площади. Локальность и чувствительность метода. Количественный анализ химического состава. Возможности и точность количественного анализа	2	0,055
Раздел 5. Спектральные (микронзондовые) методы исследования		2	0,055
18	<u>Тема 5.2. Основы метода спектроскопии Оже-электронов</u> Конструкция Оже-спектрометра. Требования к образцам. Возможности и примеры применения Оже-электронной микроскопии. Основы метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Природа спектров, химический сдвиг. Конструкция фотоэлектронного спектрометра. Возможности фотоэлектронной спектроскопии	2	0,055
Раздел 6. Методы исследования поверхности		4	0,11
13	<u>Тема 6.1. Принципы растровой электронной микроскопии</u> Конструкция растрового электронного микроскопа. Приготовление образцов. Формирование контраста во вторичных и отраженных электронах. Топографический и композиционный контрасты	2	0,055
14	<u>Тема 6.2. Использование двойного детектора</u> Применение растровой электронной микроскопии. Особенности изображения в растровом электронном микроскопе. Металлография. Использование композиционного контраста. Фрактография. Качественные и количественные методы	2	0,055
Раздел 7. Практика применения методов структурного анализа		4	0,11
18	<u>Тема 7.1. Выбор методов структурного анализа при решении задач материаловедения</u> Особенности подготовки объектов исследования при использовании дифракционных методов исследования. Особенности использования структурных методов при исследовании поверхности	2	0,055
	<u>Тема 7.2. Использование методов просвечивающей электронной микроскопии для изучения процессов, протекающих при обработке наноматериалов</u> Исследование эволюции дефектной структуры, фазового и элементного состава материала при термическом и деформационном воздействии.	2	0,055
СУММАРНАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ		36	1,0

2.3. Практические занятия

№ лекции	Содержание практических занятий
1	<u>Общие понятия о методах исследования наноматериалов:</u> рентгеноструктурный анализ, нейтронография, просвечивающая электронная микроскопия, спектрометрия в просвечивающей электронной микроскопии, рентгеновская спектрометрия (XEDS), спектрометры рентгеновского излучения, полупроводниковые детекторы (ППД) рентгеновского излучения (ПИ), артефакты XEDS, микрорентгеноспектральный анализ, спектроскопия Оже-электронов, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия и т.д. Научно-поисковые и технологические задачи, решаемые современными методами исследования.
2	<u>Ознакомление с устройством и характеристиками сканирующего (растрового) электронного микроскопа «JSM-7500FA».</u>
3	<u>Пробоподготовка образцов для анализа методами сканирующей электронной микроскопии:</u> выбор размера образца, ознакомление с методами металлизации поверхности керамических

№ лекции	Содержание практических занятий
	материалов.
4	<u>Фрактография поверхности разрушения нанокристаллического материала</u> : участие в исследовании методами сканирующей электронной микроскопии структуры и элементного состава поверхности наноматериалов, разрушенных различными способами.
5	<u>Фрактография поверхности обработки нанокристаллического материала концентрированными потоками энергии (высокоинтенсивные электронные пучки, потоки плазмы)</u> : участие в исследовании методами сканирующей электронной микроскопии структуры и элементного состава поверхности наноматериалов, обработанных концентрированными потоками энергии.
6	<u>Пробоподготовка образцов для анализа структуры и фазового состава методами электронной дифракционной микроскопии</u> : ознакомление с работой установки для ионного утонения образца «Ion slicer».
7	<u>Пробоподготовка образцов для анализа структуры и фазового состава методами рентгенофазового анализа</u> : особенности пробоподготовки сыпучих материалов, требования к размерам и форме образца, состоянию его поверхности.
8	<u>Ознакомление с устройством и характеристиками рентгеновского дифрактометра «XRD-7000S»</u> .
9	<u>Участие в съемке дифрактограмм керамических материалов на рентгеновском дифрактометре «XRD-7000S»</u> .
10	<u>Индексирование дифрактограммы, полученной с использованием рентгеновского дифрактометра «XRD-7000S»</u> : определение параметра кристаллической решетки вещества, фазового состава вещества, напряжений второго рода.
11	<u>Ознакомление с устройством и характеристиками электронного дифракционного микроскопа просвечивающего типа «JEM-2100F»</u> .
12	<u>Участие в исследовании дефектной субструктуры металлических материалов с использованием электронного дифракционного микроскопа просвечивающего типа «JEM-2100F»</u> .
13	<u>Анализ электронно-микроскопических изображений дефектной субструктуры металлических материалов, полученных с использованием электронного дифракционного микроскопа просвечивающего типа «JEM-2100F»</u> : ознакомление с методами качественной и количественной аттестации дислокационной субструктуры материала, определение типа дислокационной субструктуры и ее количественных характеристик.
14	<u>Ознакомление с возможностями электронного дифракционного микроскопа просвечивающего типа «JEM-2100F» применительно к исследованию кристаллической решетки и фазового состава</u> .
15	<u>Исследование состояния кристаллической решетки металлов и сплавов методами дифракционной электронной микроскопии</u> : индексирование микроэлектроннограмм и определение параметра кристаллической решетки вещества
16	<u>Исследование фазового состава металлов и сплавов методами дифракционной электронной микроскопии</u> : индексирование микроэлектроннограмм и определение его фазового состава.
17	<u>Ознакомление с современными методами элементного анализа материала</u> : анализ достоинств и недостатков, выбор метода анализа применительно к конкретной задаче исследования.
18	<u>Проблемы выбора методов структурного анализа при решении задач материаловедения</u>

2.4. Самостоятельная работа аспирантов

Внеаудиторная самостоятельная работа аспирантов включает следующие виды деятельности:

- проработку учебного материала по конспектам лекций и учебной литературе,
- конспектирование и реферирование источников из списка дополнительной учебной и научной литературы;
- изучение вопросов, вынесенных на самостоятельное изучение;
- подготовка реферата.

2.4.1. Вопросы для самостоятельного изучения

1. Классификация наноструктурных материалов;
2. Свойства вещества в наноструктурном состоянии: оптические свойства;

3. Свойства вещества в наноструктурном состоянии: механические свойства;
4. Свойства вещества в наноструктурном состоянии: магнитные свойства;
5. Поверхность наноструктурного материала: дефекты структуры;
6. Методы получения наноматериалов;
7. Методы исследования вещества в нанокристаллическом состоянии: сканирующая туннельная микроскопия;
8. Методы исследования вещества в нанокристаллическом состоянии: сканирующая атомно-силовая микроскопия;
9. Методы исследования вещества в нанокристаллическом состоянии: автоионная микроскопия;
10. Методы исследования вещества в нанокристаллическом состоянии: радиоспектроскопия;
11. Методы исследования вещества в нанокристаллическом состоянии: ИК и КР-спектроскопия;
12. Методы исследования вещества в нанокристаллическом состоянии: рентгеновская и фотоэлектронная спектроскопия;
13. Методы исследования вещества в нанокристаллическом состоянии: Мессбауэровская спектроскопия;
14. Методы исследования вещества в нанокристаллическом состоянии: дифракционная электронная микроскопия – дифракция в аморфных веществах;

2.4.2. Темы рефератов

1. Принцип работы электронного дифракционного микроскопа;
2. Устройство и принцип работы сканирующего электронного микроскопа;
3. Современные методы элементного анализа материала;
4. Современные методы исследования структуры нанокристаллических материалов;
5. Дифракционные методы исследования нанокристаллических материалов;
6. Методы исследования поверхности нанокристаллических материалов;
7. Применение синхротронного излучения для исследования структуры нанокристаллических материалов;
8. Выбор методов структурного анализа при решении задач материаловедения.

2.4.3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Используются виды самостоятельной работы аспиранта: в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах, на рабочих местах с доступом к интернет-ресурсам, и в домашних условиях. Аспиранты имеют возможность получать консультации у лектора.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим основную и дополнительную учебную и научную литературу, а также конспекты лекций.

3. Учебно-методические материалы

3.1. Основная и дополнительная литература

а) основная литература:

1. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия / Я.С Уманский., Ю.А. Скаков, А.Н. Иванов, Л.Н. Расторгуев - М.: Металлургия, 1982. – 632 с.
2. Металловедение и термическая обработка стали: Справочник в 3-х томах /Под ред. М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта. 4-е изд. Перераб. и доп. Т.1. Методы испытания и исследования. В 2-х книгах. – М.: Металлургия, 1991. – 304 с.
3. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. М.: Металлургия, 1973. - 584с.
4. Рентгенографический электронно-оптический анализ. Горелик С.С., Скаков Ю.А., Растор-

гуев Л.Н. Учебное пособие для вузов. – М.: МИСИС, 1994. - 328с.

а) дополнительная литература:

1. Пушаровский Д.Ю., Фетисов Г.В. Построение дифрактограмм поликристаллов по структурным данным. М., МГУ, 1991, с.56.

2. Перспективные материалы. Структура и методы исследования Учеб. пособие / Под ред. Д. Л. Меерсона. – Тольятти: ТГУ, МИСИС, 2006. – 536 с.

3. Праттон М. Введение в физику поверхности. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 256 с.

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

5. П. Хирш, А. Хови и др., Электронная микроскопия тонких кристаллов. – Москва, Мир. - 1968.

в) периодические научные издания:

Отечественные научные и научно-технические журналы: «Успехи физических наук», «Физика твердого тела», «Известия вузов, Физика», «Оптика и спектроскопия», «Физика и химия обработки материалов», «Неорганические материалы», «Физика и технология полупроводников», «Физика и химия стекла», «Физика и химия обработки материалов», «Приборы и техника эксперимента», «Физическая мезомеханика», «Журнал технической физики».

Иностранные научные и научно-технические журналы: Physical Review, Journal of Material Science, Journal of Composite Materials, Journal of Surface Investigation, Journal of Luminescence, Optics and Spectroscopy, Metallurgical and Materials Transactions, Journal of Materials Strategy, IEEE Trans. Dielectrics Electr. Insulation, IEEE Trans. Plasma Sci, Optics and Precision Engineering. Eur. Phys. J.: Appl. Phys., Phys. Rev. ST Accel. Beams, Laser and Particle Beams.

г) электронные ресурсы:

1. Нанотехнологическое сообщество: www.nanometer.ru

2. Интернет-журнал о нанотехнологиях: <http://nanodigest.ru>

3. Нанотехнологии. Научно-информационный портал по нанотехнологиям: <http://nano-info.ru>

4. Нанотехнологии: сегодня и будущее: <http://www.nanoevolution.ru>

4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- аудиторный фонд ИСЭ СО РАН,

- средства мультимедиа,

- рабочее место аспиранта с выходом в Интернет,

- библиотечный фонд ИСЭ СО РАН,

- исследовательские установки и диагностическая аппаратура Центра коллективного пользования «Сильноточная электроника» ИСЭ СО РАН и «Нано-Центра» НИ ТПУ.

5. Оценка качества освоения материала

Текущий контроль качества усвоения теоретического материала включает оценку ответов на вопросы в ходе лекций и две контрольные работы (в середине и в конце семестра).

Зачет по дисциплине ставится в соответствии с посещением лекций, качества работы на лекциях и самостоятельной работы, успешности выполнения контрольных работ.

5.1. Оценочные мероприятия и формирование оценки

Оценка качества освоения дисциплины обучающимся осуществляется с использованием бальной системы. Перечень оценочных мероприятий и максимальное количество баллов, которое может быть получено обучающимся в результате каждого мероприятия, приведены в таблице.

Оценочное мероприятие	Максимальное число баллов
Промежуточные тесты (по разделам дисциплины), суммарно	10
Оценка работы на практических занятиях	20
Подготовка реферата (самостоятельная работа)	10
Дифференцированный зачет	60
Максимальный суммарный балл	100

На дифференцированном зачете аспиранту выставляется оценка и соответствующее ей число баллов: «Отлично»: 48—60 баллов; «Хорошо»: 35—47 баллов; «Удовлетворительно»: 13—34 балла; «Неудовлетворительно»: 12 баллов и менее.

Итоговая оценка качества освоения дисциплины определяется величиной суммарного балла: «Отлично»: 81—100 баллов; «Хорошо»: 61—80 баллов; «Удовлетворительно»: 41—60 баллов; «Неудовлетворительно»: 40 баллов и менее.

5.2. Соответствие оценочных мероприятий (компонентов ФОС) дисциплины формируемым компетенциям, перечисленным в п. 1.3

Компонента ФОС, оценочное мероприятие	Компетенции					
	ОПК-1	ПК-1	ПК-2	УК-1	УК-2	УК-3
Промежуточные тесты (по разделам дисциплины)	+	+	+			
Оценка работы на практических занятиях	+	+	+	+		
Подготовка реферата (самостоятельная работа)	+	+	+	+	+	
Дифференцированный зачет	+	+	+	+		+

Рабочая программа составлена на основании:

федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. № 867;

- паспортов специальностей научных работников 01.04.04 — физическая электроника; 01.04.07 — физика конденсированного состояния;

- программ-минимумов кандидатских экзаменов по выше перечисленным специальностям, утвержденных приказом Минобрнауки РФ от 08.10.2007 г. № 274.

Составитель рабочей программы
главный научный сотрудник,
д.ф.-м.н., доцент

Ю. Ф. Иванов

Рабочая программа рассмотрена и одобрена ученым советом ИСЭ СО РАН.

Протокол № 13 от «24» августа 2018 г.

Секретарь ученого совета, д.ф.-м.н.



И. В. Пегель

Дополнения и изменения в рабочей программе
за _____ / _____ учебный год

В рабочую программу дисциплины «Методы диагностики структуры и свойств материалов» вносятся следующие дополнения и изменения:

Дополнения и изменения внес _____
(должность, Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании ученого совета ИСЭ СО РАН.
Протокол № ____ от « » _____ 20 ____ г.

Секретарь ученого совета

подпись

Ф. И. О.