

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

Электронная микроскопия

по направлению подготовки

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная и прикладная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
С.Н. Филимонов

Председатель УМК
О.М. Сюсина

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-2 Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;

ПК-1 Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 2.2 Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования

ИПК 1.1 Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования

2. Задачи освоения дисциплины

– Ознакомиться с теоретическими основами просвечивающей электронной микроскопии.

– Научиться применять теоретические основы просвечивающей электронной микроскопии для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Седьмой семестр, зачет с оценкой.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Математический анализ, Линейная алгебра и аналитическая геометрия, Дифференциальные уравнения, Общая физика, Квантовая механика, Методы математической физики, Кристаллография, Физика твердого тела.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

– лекции: 28 ч.;

– практические занятия: 10 ч.;

в том числе практическая подготовка: 10 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Введение.

Предмет электронной микроскопии. Историческая справка. Методические возможности метода и области его применения в современной науке.

Тема 2. Основы электронной оптики.

Элементы геометрической оптики: преломление, ход лучей в тонкой линзе, апертура, глубина фокуса и глубина поля. Длина волны электрона. Разрешающая способность (формула Аббе). Электронные линзы. Принцип действия электростатической и магнитной линзы. Движение электронов в длинной магнитной линзе. Аберрации электронных линз (сферическая, хроматическая, астигматизм) и разрешающая способность электронных микроскопов. Ход лучей в электронном микроскопе. Устройство электронной пушки. Принцип действия однолинзового и двухлинзового конденсора, устройство наклона и перемещения электронного луча. Ход лучей в объективной линзе. Принципы формирования дифракционного и амплитудно-фазового контраста. Ход лучей в проекционной и промежуточной линзах в режимах изображения и микродифракции. Изображения в темном и светлом поле. Глубина поля и глубина фокуса в электронной микроскопии. Принципы юстировки электронного микроскопа. Основные физические закономерности тепловых явлений. Задача Стефана о фазовом переходе. Распространение теплового возмущения в нелинейной среде от мгновенного точечного источника. Понятие о тепловой волне. Пространственная локализация теплового возмущения. Понятие о режимах с обострением.

Тема 3. Теория рассеяния электронов.

Электронномикроскопический контраст некристаллических объектов. Резерфордский закон рассеяния электронов. Полное сечение рассеяния и критическая эффективная толщина образца. Волновая функция и волновой вектор электрона. Преломление электронной волны. Рассеяние электронов на атоме. Амплитуда атомного рассеяния. Рассеяние на элементарной ячейке. Структурный фактор элементарной ячейки. Рассеяние на совершенном кристалле. Обратная решетка. Условия Лауэ. Закон Брегга. Сфера отражения. Влияние структурного фактора на дифракционную картину. Влияние размеров и формы кристаллов на форму узлов обратной решетки. Угловые размеры дифракционных максимумов. Геометрия электронограмм. Постоянная прибора. Кольцевые электронограммы (примеры анализа). Принципы анализа электронограмм от монокристаллических объектов. Особенности электронной дифракции на металлических стеклах.

Тема 4. Основы электронно-микроскопического контраста.

Эффект двух пучков, формирующих изображение. Амплитудно-фазовый контраст и прямое разрешение решетки. Влияние качества фольги (упругого изгиба, изменения толщины) на закономерности формирования амплитудно-фазового контраста. Влияние ускоряющего напряжения на разрешающую способность при прямом разрешении решетки. Кинематическая теория электронномикроскопического контраста. Суть кинематического приближения. Колонковое приближение. Экстинкционная длина. Амплитуда рассеяния на идеальном кристалле. Толщинные и изгибные контуры экстинкции. Измерение толщины фольги. Контраст от несовершенных кристаллов. Контраст смещения на плоских дефектах: дефекты упаковки, границы разориентации, межфазные границы. Муаровый узор. Электронномикроскопический контраст от дислокаций. Контраст от винтовой дислокации, параллельной плоскости фольги. Особенности контраста от краевых и смешанных дислокаций; дислокаций, наклонных поверхности фольги; парных дислокаций и дислокационных диполей. Определение векторов Бюргера дислокаций. Типы электронномикроскопического контраста на частицах вторичных фаз: абсорбционный, деформационный, ориентационный, по структурному фактору, различные типы контраста на межфазных границах. Приближения и некоторые следствия динамической теории контраста.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине осуществляется путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного

раза в семестр. Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=22062>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (<https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>).

в) План практических занятий по дисциплине.

1. Устройство и принцип работы просвечивающего электронного микроскопа. Основы электронной оптики.

2. Обратная решетка. Условия Лауэ. Закон Брегга. Принцип расшифровки картин микродифракций.

3. Электронно-микроскопический контраст некристаллических и кристаллических объектов. Методы и подходы при анализе электронно-микроскопических изображений.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студента включает:

- углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке к лекционным и практическим занятиям;
- подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;
- подготовку к зачету.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Фульц Б. Просвечивающая электронная микроскопия и дифрактометрия материалов / Б. Фульц, М. Хау Дж. – Москва: Техносфера, 2011. – 904 с.
2. Электронная микроскопия : учеб. пособие / А.И. Власов, К.А. Елсуков, И.А. Косолапов. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 168 с.
3. Хирш П., Хови А., Николсон Р., Пэшли Д., Уэлан М. Электронная микроскопия тонких кристаллов. - Изд. “Мир”. - Москва, 1968. - 576 с. Главы 1-7.
4. Утевский Л. М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. - Изд. “Металлургия. - Москва, 1973. - 584 с.
5. Бушнев Л.С., Колобов Ю.Р., Мышляев М.М. Основы электронной микроскопии. - Изд. Томского университета. - Томск, 1990. - 220 с.
6. Шиммель Г. Методика электронной микроскопии. - Изд. “Мир”. - Москва, 1972. - 300 с.

б) дополнительная литература:

1. Утевский Л. М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. - Изд. “Металлургия. - Москва, 1973. - 584 с.
2. Томас Г., Гориндж М. Дж. Просвечивающая электронная микроскопия материалов. - Изд. “Наука”. - Москва, 1983. - 320 с.
3. Спенс Дж. Экспериментальная электронная микроскопия высокого разрешения. - Изд. “Наука”. - Москва, 1983. - 320 с.

4. Основы аналитической электронной микроскопии / Под. ред. Грена Дж. Дж., Гольдштейна Дж. И., Джоя Д.К., Ромига А.Д.: Пер. с англ. под ред. Усикова М.П. — М.: Металлургия, 1990. 584 с.

в) ресурсы сети Интернет:

1. Издательство «Юрайт» [Электронный ресурс] : электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – М., 2013- . URL: <http://www.biblio-online.ru/>
2. Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс] / Научно-издательский центр Инфра-М. – Электрон. дан. – М., 2012- . URL: <http://znanium.com/>
3. Электронно-библиотечная система Консультант студента [Электронный ресурс] / ООО «Политехресурс». - М, 2012- . – URL: <http://www.studentlibrary.ru/>
4. Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс] . – Электрон. дан. – Томск, 2011-. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
5. Электронный каталог [Электронный ресурс] / НИ ТГУ, Научная библиотека ТГУ. – Электрон. дан. – Томск, 2008-2016. – URL: <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?theme=system>
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2000- . – URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp?>
7. КонсультантПлюс [Электронный ресурс]: справ. правовая система. – Электрон. дан. – М., 1992- . – Доступ из локальной сети Науч. б-ки Том. гос. ун-та.
8. Гарант [Электронный ресурс] : информ.-правовое обеспечение / НПП «Гарант-Сервис». – Электрон. дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети Науч. б-ки Том. гос. ун-та.
9. ScienceDirect [Electronic resource] / Elsevier B.V. – Electronic data. – Amsterdam, Netherlands, 2016. – URL: <http://www.sciencedirect.com/>
10. SpringerLink [Electronic resource] / Springer International Publishing AG, Part of Springer Science+Business Media. – Electronic data. – Cham, Switzerland, [s. n.]. – URL: <http://link.springer.com/>
11. Базовый курс по ПЭМ. <http://ism-data.misis.ru/index.php/lections/pem>
12. www.doitpoms.ac.uk › TLP Library

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook); системы компьютерной вёрстки LaTeX;

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешанном формате, оснащенные системой «Актру».

Все виды материально-информационной базы Научной библиотеки ТГУ.

Мультимедийное оборудование физического факультета ТГУ.

Программное обеспечение курсов, предшествующих изучению представленной дисциплины.

15. Информация о разработчиках

Дитенберг Иван Александрович, доктор физико-математических наук, доцент, кафедра физики металлов физического факультета ТГУ, заведующий кафедрой.

Пинжин Юрий Павлович, кандидат физико-математических наук, кафедра физики металлов физического факультета ТГУ, доцент.

Смирнов Иван Владимирович, кандидат технических наук, кафедра физики металлов физического факультета ТГУ, доцент.