

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

Нанофазные и аморфные материалы

по направлению подготовки

03.04.02 Физика

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

Форма обучения
Очная

Квалификация
Магистр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
О.Н. Чайковская

Председатель УМК
О.М. Сюсина

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ПК-1 –Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.1. Знает основные стратегии исследований в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости;

ИПК-1.2. Умеет выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики, извлекать информацию из различных источников, включая периодическую печать и электронные коммуникации, представлять её в понятном виде и эффективно использовать.

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить фундаментальные основы физики формирования нанозначных и аморфных материалов.

– Научиться применять основные физические представления о взаимосвязи структуры и свойств металлов и сплавов разного класса при решении практических и теоретических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (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

Семестр 3, экзамен.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для изучения и понимания материала данной дисциплины обучающийся должен владеть основными представлениями и понятиями из курсов: Кристаллография, Физика твердого тела, Дефекты в твердых телах, Теория дислокаций. Знать основы современных методов исследования структуры, элементного и фазового состава (рентгеноструктурный анализ, растровая и просвечивающая электронная микроскопия), физических и механических свойств.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часа, из которых:

– лекции: 24 ч.;

– практические занятия: 8 ч.;

в том числе практическая подготовка: 8 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1. Структура границ зерен.

Границы зерен (ГЗ). Их роль в формировании микроструктуры и свойств кристаллов. Макроскопические и микроскопические параметры ГЗ. Геометрические модели ГЗ. Вспомогательные решетки: решетка совпадающих узлов; нуль решетка, уравнение для ее базисных векторов. Полная решетка наложений. Специальные границы и границы общего типа. Дефектная структура ГЗ. Зернограничные дислокации (ЗГД) и уступы. Дисклинации в ГЗ. Влияние зернограничных дислокаций и частичных дисклинаций на атомную структуру и параметры ГЗ. Модель структурных единиц. Результаты теоретических расчетов атомной структуры и энергии ГЗ. Полиэдры Бернала. Результаты экспериментального исследования структуры и свойств границ зерен специального и общего типа.

Тема 2. Классификация и методы получения наноструктурных материалов.

Наноструктурные (НС) материалы. Классификация их основных структурных типов. Методы получения НС материалов: метод Глейтера; методы интенсивной пластической деформации; кристаллизация из расплавов и метастабильных твердых растворов; ионно-лучевые и ионно-плазменные методы формирования тонких пленок; комбинированные методы синтеза НФ материалов.

Тема 3. Микроструктура НС материалов.

Соотношение объемов внутрикристаллической и «зернограничной» фаз. Основные методы экспериментального исследования структуры НС материалов. Гипотеза газоподобного состояния. Результаты исследования микроструктуры ГЗ методами высокоразрешающей электронной микроскопии (прямое разрешение решетки). Особенности структуры ГЗ в нанокристаллических (НК) материалах разного класса (металлы, керамика, металлокерамика), полученных методом Глейтера. Особенности структурного состояния кристалла вблизи границ зерен субмикроструктурных (СМК) материалов, полученных методами интенсивной пластической деформации. Неравновесные ГЗ. Их дислокационные и дисклинационные модели. Особенности дефектной микроструктуры объема зерен в НК и СМК структурных состояниях. Особенности фазовых превращений в процессе трансформации кристаллов в НС состояния. Термодинамическая оценка роли поверхностной энергии в изменении диаграммы состояния. Условия формирования, микроструктура и свойства фуллерена, нанотрубок, графена и алмазоподобных углеродных покрытий. Микроструктура и методы получения квазикристаллов. Ориентационный дальний порядок (определение) и экспериментальные методы его обнаружения.

Тема 4. Физико-механические свойства НС материалов.

Механические свойства НК и СМК материалов: упругие модули; прочность; пластичность; изменение соотношения Холла-Петча. «Высокоскоростная» и «низкотемпературная» сверхпластичность. Современные представления о механизмах деформации в НК и СМК структурных состояниях. Зернограничное проскальзывание и движение зерен. Механизмы этих явлений и их влияние на свойства НК и СМК материалов.

Тема 5. Методы получения, микроструктура и свойства металлических стекол.

Методы получения металлических стекол: закалка из расплава; конденсация из газовой фазы и электролитическое осаждение; ионная имплантация и ионное перемешивание; интенсивная пластическая деформация. Структура аморфных материалов. Топологический и композиционный ближний порядок. Экспериментальные методы и результаты исследования микроструктуры аморфного состояния. Структурные модели аморфного состояния: модель Бернала; кластерная модель; субнанокристаллическая модель. Физические свойства аморфных материалов:

электросопротивление; магнитные свойства; теплоемкость; температура Кюри и Дебая; диффузионная проницаемость. Механические свойства: упругие модули; прочность; пластичность; механизмы деформации.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится с применением балльно-рейтинговой системы, включающей контроль посещаемости, результаты выполнения заданий по материалам курса (выступление и работа на семинарах), и фиксируется в форме баллов (нарастающим итогом): посещаемость – максимальный балл 10, выполнение заданий по материалам курса – 40. Контрольная точка проводится не менее одного раза в семестр.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в третьем семестре проводится в письменной форме по билетам. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

На промежуточную аттестацию планируется не более 50 баллов.

Итоговая оценка по дисциплине складывается из суммы баллов, полученных по итогам текущего контроля и промежуточной аттестации.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Экзаменационная оценка определяется исходя из результатов экзамена и текущей аттестации в течение семестра и согласуется с принятым соответствием с 5-ти балльной шкалой оценивания: 100-86 – «отлично»; 85-66 – «хорошо»; 65-50 – «удовлетворительно», менее 50 – «неудовлетворительно».

Экзаменационный билет включает 2 вопроса из списка контрольных вопросов по курсу (приведен в разделе 11), проверяющих сформированность компетенции ПК-1 в соответствии с индикаторами ИПК-1.1 и ИПК-1.2. Ответы даются в развернутой форме.

Пример экзаменационного билета:

БИЛЕТ № 1

Вопрос 1. Границы зерен (ГЗ) и их роль в формировании микроструктуры и свойств кристаллов. Макроскопические и микроскопические параметры ГЗ.

Вопрос 2. Фазовые превращения в наноструктурных состояниях. Роль поверхностной энергии в процессе таких превращений при уменьшении размеров наночастиц (термодинамический подход).

Дополнительные и/или уточняющие вопросы по основным темам и содержанию курса (разделы 8, 11), позволяющие оценить уровень освоения всей программы. Ответ на уровне формулировки основных определений и/или краткого изложения физики явления и соответствующих представлений.

Например:

Вопрос 1. Дать определение решетки совпадающих узлов.

Вопрос 2. Ориентационный дальний порядок.

Вопрос 3. Сверхпластичность.

Вопрос 4. Полиэдры Бернала.

И т.д.

Текущий контроль учитывается при проведении промежуточной аттестаций. 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=21930>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) Основная и дополнительная учебная литература.

г) Практические занятия в виде семинаров, на которых прорабатывают материал курса по тематическим разделам

План семинаров по дисциплине:

1. «Структура границ зерен, геометрические и атомные модели».

2. «Наноструктурные материалы: методы получения».

3. «Наноструктурные материалы: микроструктура и свойства».

4. «Нанотехнологии: современное состояние, тенденции развития».

д) 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 экзамену.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Андриевский Р.А. Основы наноструктурного материаловедения. Возможности и проблемы. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 252 с. ISBN 978-5-9963-1445-4. [монография]
2. Рыжонков Д.И., Лёвина В.В., Дзидзигури Э.Л. Наноматериалы: учебное пособие. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 367 с. ISBN: 978-5-9963-2531-3
3. Кац Е.А. Фуллерены, углеродные нанотрубки и нанокластеры: Родословная форм и идей. № 10. – Изд. Стереотип. URSS. 2014. – 296 с. Мягкая обложка. ISBN 978-5-397-04164-5.
4. Глезер А.М., Пермякова И.Е. Нанокристаллы, закаленные из расплава. 2012. – 360 с. Твердый переплет. ISBN 978-5-9221-1373-1.
5. Гусев А.И. Наноматериалы, структуры, технологии. – 2-е изд., испр.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 416 с. ISBN 978-5-9221-0582-8.
6. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. – М.: Издательский центр "Академия", 2005. – 192 с. ISBN 5-7695-2034-5.
7. Орлов А. Н., Переверзенцев В. Н., Рыбин В. В. Границы зерен в металлах. – Изд. "Металлургия". – Москва, 1980. – 156 с. Главы I - III.
8. Кайбышев О.А., Валиев Р.З. Границы зерен и свойства металлов. – Изд. "Металлургия". – Москва, 1987. – 214 с.
9. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 398 с. ISBN 978-5-94628-217-8.
10. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 2000. – 272 с. ISBN 5-88439-135-8.
11. Коч К., Овидько И., Сил С., Вепрек С. Конструкционные нанокристаллические материалы. Научные основы и предложения. Пер. с англ. – 2012. – 448 с. Твердый переплет. ISBN 978-5-9221-1395-3.
12. Аморфные металлические сплавы. Под ред. Ф. Е. Любарского. – М.: Металлургия,

1987. – 571 с. Главы 1, 2, 4, 5, 11.

б) дополнительная литература:

1. Синтез и свойства нанокристаллических и субструктурных материалов / Под ред. А.Д. Коротаева. – Томск: Изд-во Том.ун-та, 2007. – 368 с. ISBN 978-5-7511-1793-7
2. Тюменцев А.Н., Коротаев А.Д., Дитенберг И.А., Пинжин Ю.П., Чернов В.М. Закономерности пластической деформации в высокопрочных и нанокристаллических металлических материалах. Сиб. от-ние. РАН. – Новосибирск: СО РАН: Наука: Изд-во СО РАН, 2018 – 256 с. ISBN 978-5-6040988-3-7 (СО РАН). ISBN 978-5-02-038756-0 (Наука). ISBN 978-5-7692-1628-2 (Издательство СО РАН).
3. Валиев Р.З., Корзников А.В., Мулюков Р.Р. Структура и свойства металлических материалов с субмикроструктурной структурой. // Физика металлов и металловедение. – 1992. – Т. 73, №4. – С. 373-384.
4. Валиев Р.З., Мусалимов Р.Ш. Электронная микроскопия высокого разрешения нанокристаллических материалов. // Физика металлов и металловедение. – 1994. – Т. 78, №6. – С. 114-122.
5. Переверзенцев В.Н. Современные представления о природе структурной сверхпластичности. // Сб. научных трудов: Вопросы теории дефектов в кристаллах. – Ленинград: Изд. “Наука”, 1987. – С. 85-100.
6. Лихачев В.А., Шудегов В.Е. Принципы организации аморфных структур. – СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 1999. – 228 с.
7. Глезер А.М., Молотиллов Б.В. Структура аморфных сплавов. // Физика металлов и металловедение. – 1990. – № 2. – С. 5-28.
8. Глезер А.М., Молотиллов Б.В., Утевская О.Л. Механические свойства аморфных сплавов. // Металлофизика. – 1983. – Т. 5, № 1. – С. 29-45.
9. Коротаев А.Д., Тюменцев А.Н. Аморфизация металлов методами ионной имплантации и ионного перемешивания. // Изв. вузов. Физика. – 1994. – № 8. – С. 3-31.
10. Бабанов Ю.А., Благинина Л.А., Головщикова И.В. и др. Дефекты в нанокристаллическом палладии // Физика металлов и металловедение. – 1997. – Т. 83, № 4. – С. 167-175.
11. Братковский А.М., Данилов Ю.А., Кузнецов Г.И. Квазикристаллы. // Физика металлов и металловедение. – 1989. – Т. 68, № 6. –С. 1045-1095.
12. Ларионов Л.Н. Диффузионные процессы в нанокристаллических материалах. // Металлофизика и новейшие технологии. – 1995. – Т. 17, № 1. – С. 3-29.
13. Клоцман С.М. Диффузия в нанокристаллических материалах. // Физика металлов и металловедение. – 1993. – Т. 75, № 4. – С. 5-18.

в) ресурсы сети Интернет:

1. Издательство «Юрайт» [Электронный ресурс] : электрон.-библиотечная система. – Электрон. дан. – М., 2013- . URL: <http://www.biblio-online.ru/>
2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2000- . – URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp?>
3. Консультант Плюс [Электронный ресурс]: справ. правовая система. – Электрон. дан. – М., 1992- . – Доступ из локальной сети Науч. б-ки Том. гос. ун-та.
4. Гарант [Электронный ресурс] : информ.-правовое обеспечение / НПП «Гарант-Сервис». – Электрон. дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети Науч. б-ки Том. гос. ун-та.
5. ScienceDirect [Electronic resource] / Elsevier B.V. – Electronic data. – Amsterdam, Netherlands, 2016. – URL: <http://www.sciencedirect.com/>
6. SpringerLink [Electronic resource] / Springer International Publishing AG, Part of Springer Science+Business Media. – Electronic data. – Cham, Switzerland, [s. n.]. – URL: <http://link.springer.com/>

7. ProQuest Ebook Central [Electronic resource] / ProQuest LLC. – Electronic data. – Ann Arbor, MI, USA, [s. n.]. – URL: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/tomskuniv-ebooks/home.action>

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; системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica, Waterloo Maple;
 - публично доступные облачные технологии (GoogleDocs, Яндекс диск и т.п.).
- б) информационные справочные системы:
- Электронный каталог [Электронный ресурс] / НИ ТГУ, Научная библиотека ТГУ. – Электрон. дан. – Томск, 2008-2016. – URL: <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?theme=system>
 - Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс] . – Электрон. дан. – Томск, 2011. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
 - ЭБС Издательство «Лань» [Электронный ресурс]:/ – Электрон. дан. – СПб., 2010. – URL: <http://e.lanbook.com/>
 - ЭБС Консультант студента [Электронный ресурс] / ООО «Политехресурс». – М, 2012. – URL: <http://www.studentlibrary.ru/>
 - Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
 - ЭБС Znanium.com [Электронный ресурс] / Научно-издательский центр Инфра-М. – Электрон. дан. – М., 2012. – URL: <http://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, кафедры физики металлов физического факультета ТГУ, заведующий кафедрой.