

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

Физический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов
«15» апреля 2021 г.



Рабочая программа дисциплины

Нанофазные и аморфные материалы

по направлению подготовки

03.04.02 Физика

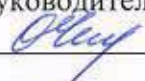
Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная и прикладная физика»

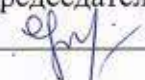
Форма обучения
Очная

Квалификация
Магистр

Год приема
2021

Код дисциплины в учебном плане Б1.В.ДВ.01.04.10

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
 О.Н. Чайковская

Председатель УМК
 О.М. Сюсина

Томск – 2021

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 нанофазных 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 части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, входит в модуль по выбору "Физика конденсированного состояния вещества".

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: 20 ч.;

– практические занятия: 12 ч.;

в том числе практическая подготовка: 12 ч.

(Это практикоориентированная составляющая, которая реализуется через любые

виды занятий, зависит от содержания и назначения курса. Это не отдельные часы, а те, которые входят в Вашем случае в лекции 20+практики 12)

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 практических занятиях), 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. (10+40+50=100)

Итоговая оценка по дисциплине складывается из суммы баллов, полученных по итогам текущего контроля и промежуточной аттестации (~~устного экзамена~~). Экзамен-то письменный!

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». (можно получить 50 баллов только за текущую аттестацию и 0 на экзамене, что маловероятно, Можно получить по 50 за текущую аттестацию и экзамен, что тоже маловероятно. Получается, что экзамен надо сдавать в любом случае. Кто же согласится на 3 посетив все лекции и выполнив все текущие задания)

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.

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.

Перечень вопросов, выносимых на экзамен.

1. Границы зерен (ГЗ) и их роль в формировании микроструктуры и свойств кристаллов. Макроскопические и микроскопические параметры ГЗ.
2. Геометрические модели границ зерен. Вспомогательные решетки: Решетка совпадающих узлов. Специальные границы и границы общего типа (определение).
3. Принципы моделирования атомной структуры границ зерен (ГЗ). Полная решетка наложений. Специальные границы и границы общего типа (определение).
4. Зернограничные дислокации (ЗГД) и уступы. Собственные и внесенные зернограничные дислокации. Моделирование границ общего типа с использованием этих дефектов.
5. Структура границ зерен (ГЗ) общего типа. Модель структурных единиц. Результаты теоретических расчетов атомной структуры ГЗ.
6. Геометрические модели границ зерен. Нуль решетка, уравнение для ее базисных векторов. Специальные границы и границы общего типа (определение).
7. Понятие неравновесных границ зерен. Дислокационные и дисклинационные модели их дефектной микроструктуры.
8. Определение границ зерен (ГЗ) специального и общего типа. Диполи частичных дисклинаций в ГЗ. Дисклинационная модель ГЗ общего типа.
9. Особенности дефектной микроструктуры объема субмикро- и нанокристаллов. Структурные состояния с высокой кривизной кристаллической решетки в субмикроструктурных состояниях. Критические размеры бездислокационных нанокристаллов.
10. Классификация (по Глейтеру) основных структурных типов нанофазных материалов. Нанокристаллические и субмикроструктурные материалы. Основные структурные факторы, определяющие их особые свойства.
11. Структурная сверхпластичность. Феноменология. Механизмы деформации. “Высокоскоростная” и “низкотемпературная” сверхпластичность.
12. Механические свойства наноструктурных металлических материалов: упругие модули; прочность; пластичность; изменение соотношения Холла-Петча.
13. Фазовые превращения в наноструктурных состояниях. Роль поверхностной энергии в процессе таких превращений при уменьшении размеров наночастиц (термодинамический подход).
14. Микроструктура СМК металлических материалов, полученных методами интенсивной пластической деформации. Дислокационная и дисклинационная структура в объеме и на границах зерен. Структура приграничных зон.
15. Квазикристаллы. Структура, понятие ориентационного дальнего порядка, условия образования, методы получения.
16. Методы получения нанокристаллических и субмикроструктурных материалов: метод Глейтера, интенсивная пластическая деформация, кристаллизация металлических стекол и др.
17. Фазовые превращения в ультрадисперсных средах. Фуллерены, алмазоподобные покрытия (условия их образования методами cluster beam deposition – молекулярных пучков).

18. Методы получения и структурные модели металлических стекол. Модель Бернала, Дисциплинарная модель. Кластерные модели.

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

1. Структура границ зерен, геометрические и атомные модели.

2. Наноструктурные материалы: методы получения.

3. Наноструктурные материалы: микроструктура и свойства.

4. Аморфные материалы и квазикристаллы: методы получения, микроструктура и свойства.

5. Фазовые превращения в углероде. Алмазоподобные покрытия, фуллерены, нанотрубки, графен – методы получения, микроструктура и свойства.

6. Методы получения, микроструктура и свойства нанокompозитных сверхтвердых и ультратвердых покрытий.

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 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.: Metallurgia, 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. Переверзев 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., Молотилов Б.В. Структура аморфных сплавов. // Физика металлов и металловедение. – 1990. – № 2. – С. 5-28.
8. Глезер А.М., Молотилов 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. Ларииков 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 OneNote, 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, кафедра физики металлов физического факультета ТГУ, заведующий кафедрой.