

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

Дефекты в твердых телах

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

Томск – 2025

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

– Получить представления об основных типах дефектов кристаллического строения и сформировать навыки для проведения классификации дефектов по размерному параметру.

– Научиться применять понятийный аппарат термодинамики и механики сплошной среды для оценки энергетических характеристик точечных дефектов и решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины 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

Седьмой семестр, экзамен

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: рентгеноструктурный анализ; кристаллография; физика твердого тела; математический анализ; дифференциальные уравнения..

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

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

-лекции: 32 ч.

-практические занятия: 16 ч.

в том числе практическая подготовка: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Классификация дефектов в кристаллах. Точечные, линейные, плоские и объемные дефекты.

Краткое содержание темы. Доказательство существования дефектов в кристаллах. Типы и классификация дефектов решетки. Точечные, линейные и плоские дефекты. Вакансии, межузельные атомы и их комплексы. Дислокация. Атомная модель дислокаций. Ядро дислокаций. Вектор Бюргерса. Типы дислокаций. Дисклинации. Типы дисклинаций. Дефекты упаковки. Атомная модель дефекта упаковки в ГЦК и ГПУ кристаллах. Понятие о динамических дефектах

Тема 2. Термодинамика точечных дефектов. Оценка энергии образования и объема вакансий.

Краткое содержание темы. Термодинамика точечных дефектов. Энергия и энтропия образования точечных дефектов и их комплексов. Вакансии в упруго-изотропной среде. Расчет поля смещений, энергии и объема вакансии. Оценка энергии образования вакансий по температуре плавления и модулям упругости. Оценка энергии образования межузельного атома.

Тема 3. Подвижность точечных дефектов. Экспериментальные методы измерения энергии образования и движения вакансий. Избыточные точечные дефекты.

Краткое содержание темы. Подвижность избыточных вакансий. Закалка избыточных вакансий. Экспериментальные методы измерения энергии активации образования и миграции вакансий. Кинетика выхода вакансий на стационарные и переменные стоки.

Тема 4. Радиационные дефекты в кристаллах. Межузельные атомы.

Краткое содержание темы. Радиационные дефекты. Каскады столкновений. Структура каскадов. Кластеры точечных дефектов. Межузельные атомы. Гантельная конфигурация межузельных атомов. Явления неупругости и гистерезиса. Сравнительная оценка энергий активаций образования и миграции точечных дефектов различного типа.

Тема 5. Диффузия в кристаллах. Механизмы диффузии. Коэффициент диффузии. Связь с точечными дефектами.

Краткое содержание темы. Диффузия в кристаллах. Уравнения Фика. Механизмы диффузии. Диффузия вакансий. Задача выхода вакансий из тонкой пластины. Сток вакансий на дислокации. Вакансионный механизм самодиффузии. Связь параметров диффузии с плотностью и подвижностью вакансий. Эффект Киркенделла. Диффузионная пористость.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий 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

Экзамен в седьмом семестре проводится в письменной форме по билетам. Продолжительность экзамена 1,5 часа. 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=00000>

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

в) основная и дополнительная учебная литература.

г) практические занятия, предусматривающие решение задач студентами индивидуальных и групповых задач по всем разделам, изучаемого студентами теоретического материала

д) методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. В.Б. Дудникова, В.С. Урусов, Е.В. Жариков Точечные дефекты и их кластеры в кристаллах форстерита. Изучение компьютерными методами и компьютерное моделирование. Изд-во ЛАМБЕРТ, 2013.
2. Сапарова А.С. Аникина В.И. Основы кристаллографии и дефекты кристаллического строения. Практикум Изд-во "Перспектив", 2015, 146с.
3. Дамаск А., Динс Дж. Точечные дефекты в металлах. - М: Мир, 1996. - С. 288. - Гл. 1,2,3,4.
4. Орлов А. Н. Дефекты // Физическая энциклопедия / Гл. ред. А. М. Прохоров. — М.: Советская энциклопедия, 1988. — Т. 1. — С. 595—597. — 704 с.,
5. Штремель М. А. Прочность сплавов. Ч. I Дефекты решетки. М.: Изд. МИСиС, 1999. - С. 383. - Гл. 2, 4.

б) дополнительная литература:

1. Гегузин Я. Е. Диффузионная зона. - М.: Наука, 1979. - С. 343. Гл. 1-7.
2. Зайт В. Диффузия в металлах. - М.: Изд. И. Л., 1958. - С. 372
3. Орлов А. Н., Трушин Ю. В. Энергия точечных дефектов в металлах. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - Гл. 1-3.
4. Зеленский В. Ф., Неклюдов И. М., Черняева Т. П. Радиационные дефекты и набухание металлов. - Киев: Научная мысль, 1988. - С. 293. - Гл. 1-4.
5. Баллуфи Р. В., Кинг А. Г. Стоки для точечных дефектов в металлах и сплавах. Сб. Фазовые превращения при облучении. - Челябинск: Изд. Metallurgy, 1989. - С. 118-150.
6. Томпсон Т. Дефекты и радиационные повреждения в металлах. - М.: Мир, 1971. - С. 366. - Гл. 1, 5.
7. Кирсанов В. В., Суворов А. А., Трушин Ю. В. Процессы радиационного дефектообразования в металлах. М.: Энергоатомиздат, 1985. - С. 210.
8. Келли А., Гровз Г. Кристаллография и дефекты в кристаллах. - М.: Мир, 1974.
9. Рогман С. Дж. Влияние облучения на диффузию в металлах и сплавах. Сб. Фазовые превращения при облучении. - Челябинск: Изд. Metallurgy, 1989. - С. 151-167.
10. J.E.Bauerle, J.S. Koehler Quenched-in Lattice Defects in Gold / Phys. Rev V.107, N6.- 1957. P. 1493- 1498.
11. R.O.Simmons, R.W. Balluffi Measurements of equilibrium vacancy concentrations in aluminum / Phys Rev V. 117 N1 P. 52- 61.
12. Границы зерен и свойства металлов. Кайбышев О. А., Валиев Р. З. М.:Metallurgy, 1987. 214 с.
13. Ehrhart, P. (1991) Properties and interactions of atomic defects in metals and alloys, volume 25 of Landolt-Börnstein, New Series III, chapter 2, p. 88, Springer, Berlin

14. Hong, J.; Hu, Z.; Probert, M.; Li, K.; Lv, D.; Yang, X.; Gu, L.; Mao, N.; Feng, Q.; Xie, L.; Zhang, J.; Wu, D.; Zhang, Z.; Jin, C.; Ji, W.; Zhang, X.; Yuan, J.; Zhang, Z. (2015). "Exploring atomic defects in molybdenum disulphide monolayers". *Nature Communications* **6**: 6293.
15. Mayr, S.; Ashkenazy, Y.; Albe, K.; Averbach, R. (2003). "Mechanisms of radiation-induced viscous flow: Role of point defects". *Phys. Rev. Lett.* **90** (5): 055505.
16. Ashkenazy, Yinon; Averbach, Robert S. (2012). "Irradiation Induced Grain Boundary Flow—A New Creep Mechanism at the Nanoscale". *Nano Letters* **12** (8): 4084–9.

в) ресурсы сети Интернет:

https://ru.wikipedia.org/wiki/Дефекты_кристалла
<http://firc.itep.ru/rus/media/presentations/feb2012/Zaluzhnuy.pdf>
<http://twf.mpei.ru/ochkov/TM/lection1.htm>

– ...

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);
- 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/>

в) профессиональные базы данных:

- Университетская информационная система РОССИЯ – <https://uisrussia.msu.ru/>
- Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) – <https://www.fedstat.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, 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 и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешанном формате («Актру»).

15. Информация о разработчике

Дмитриев Андрей Иванович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры физики металлов ФФ НИ ТГУ