

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет
Кафедра физических методов исследования твёрдого тела



Рабочая программа дисциплины

ДЕФЕКТЫ В КРИСТАЛЛАХ

направление подготовки: **03.03.02 Физика**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	72	32	4		14	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 40 часов										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу,
д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	7
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	8

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Курс «Дефекты в кристаллах» предназначен для обучения студентов-физиков основам современных представлений о реальном строении кристаллических веществ. Основной целью освоения курса является ознакомление с классификацией дефектов в кристаллах (точечные дефекты (вакансии и атомы внедрения), линейные дефекты - дислокации различного типа, планарные дефекты), механизмами образования и свойствами дефектов, а также с влиянием дефектов на физические и химические свойства кристаллов.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>ПК-1 Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>Знать классификацию дефектов в кристаллах, строение, механизмы и условия образования точечных дефектов и дислокаций, механизмы диффузии в кристаллах, роль диффузии и точечных дефектов при химических твёрдофазных реакциях, механизмы пластической деформации и разрушения кристаллов, способы регулирования механических свойств кристаллов, строение дефектов упаковки, межкристаллитных и межфазных границ, механизмы структурных превращений в твёрдых телах;</p> <p>современные методы исследования дефектов в кристаллах, информацию о дефектной структуре кристаллов, получаемую различными экспериментальными методами, требования к образцам и методики подготовки образцов для исследования дефектной структуры кристаллов.</p> <p>Уметь объяснить влияние дефектов на различные физические и химические процессы в кристаллах; определять экспериментальные методы необходимые для получения конкретной информации о параметрах дефектов и их влиянии на физические и химические свойства кристаллов.</p> <p>Владеть методиками, позволяющими оценить концентрацию и подвижность дефектов в кристаллах и предсказать условия их образования, владеть навыками самостоятельной работы с литературой о дефектах в</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		кристаллах; навыками работы с базами данных о энергетических и динамических характеристиках дефектов в кристаллах.

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал лекционного курса увязывается с современными исследованиями в области изучения дефектов в кристаллах. Специально указываются темы, активно обсуждающиеся в текущей профессиональной научной литературе и работах институтов, в которых студенты проходят научную практику. Материал курса увязывается с общефизическими курсами, изучаемыми студентами-физиками и спецкурсами, которые параллельно изучаются по данной специальности (колебательная ИК и КР спектроскопия, электронная микроскопия и т.д.). Все практические занятия проводятся в интерактивной форме.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Дефекты в кристаллах» реализуется в весеннем семестре 3-го курса для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору по направлению подготовки 03.03.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика» Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по физике сплошных сред, кристаллографии, кристаллохимии. Он способствует выполнению квалификационной работы бакалавра по данной специализации, т.к. дает бакалавру необходимые знания о влиянии дефектов в кристаллах на их физические и химические свойства.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	72	32	4		14	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 40 часов										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: контрольные работы, контрольные вопросы;
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

занятия лекционного типа – 32 часа;

практические занятия – 4 часа;

самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 14 часов;

промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 40 часов.

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Точечные дефекты и диффузия в кристаллах.	1-6	18	10	2	6	
2.	Дислокации и механические свойства кристаллов.	7-12	16	10	2	4	
3.	Строение границ зерен и межфазных границ. Механизмы структурных превращений.	13-16	16	12		4	
4.	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации		18				18
5.	Консультации перед экзаменом		2				2
6.	Экзамен		2				2
Всего			72	32	4	14	22

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

Раздел 1. Точечные дефекты и диффузия в кристаллах. (12 часов)

Лекция 1. Классификация дефектов в кристаллах. Точечные дефекты. Тепловые точечные дефекты (механизмы образования, энергетика). (2 часа)

Лекция 2. Дефекты нестехиометрии. Варианты нестехиометрии (на примере оксидов металлов). Зависимость концентрации дефектов от давления кислорода. Метод Брауэра. Электронное строение нестехиометрических соединений. (2 часа)

Лекция 3. Влияние примесных атомов на образование дефектов в стехиометрических и нестехиометрических кристаллах. (2 часа)

Лекция 4. Диффузия в кристаллах. Механизмы диффузии. Коэффициент диффузии. Энергия активации диффузии. Хаотическая диффузия. Направленная диффузия в градиенте концентрации и поле механических напряжений. **(2 часа)**

Лекция 5. Ионная проводимость. Суперионники. Материалы для аккумуляторов, топливных элементов, мембран. **(2 часа)**

Лекция 6. Эффекты, обусловленные диффузией. Эффекты Киркендалля и Френкеля. Методы определения коэффициента диффузии. Диффузия и химические реакции. Роль диффузии и точечных дефектов при реакциях твёрдое + газ и твёрдое + твёрдое. **(2 часа)**

Раздел 2. Дислокации и механические свойства кристаллов. (14 часов)

Лекция 7. Дислокации в кристаллах. Вектор и контур Бюргерса. Энергия краевой и винтовой дислокации. Движение дислокаций: скольжение и переползание. Наблюдаемые системы скольжения (ГЦК, ОЦК и ГПУ металлы, ионные кристаллы (NaCl, CsCl)). **(3 часа)**

Лекция 8. Взаимодействие между дислокациями. Полигонизация, аннигиляция и пересечение дислокаций. Образование дислокаций. Методы наблюдения дислокаций. **(2 часа)**

Лекция 9. Факторы, влияющие на подвижность дислокаций. Влияние примесных атомов, дисперсных частиц на подвижность дислокаций. **(2 часа)**

Лекция 10. Различные механизмы пластической деформации: скольжение дислокаций, дислокационная и диффузионная ползучесть. Карта механизмов пластической деформации. Сверхпластичность. **(2 часа)**

Лекция 11. Частичные дислокации. Дефекты упаковки. Энергия дефекта упаковки. Двойникование в кристаллах. **(2 часа)**

Лекция 12. Разрушение. Теория хрупкого и вязкого разрушения. Эффекты Иоффе и Ребендера. Механизмы образования трещины при пластической деформации. **(3 часа)**

Раздел 3. Строение границ зерен и межфазных границ. Механизмы структурных превращений. (6 часов)

Лекция 13. Границы зерен. Строение границ зерен. Дислокационная модель. Решётка совпадающих узлов. О-решётка. Модель полиэдров. Специальные границы. Зернограницные дислокации. Движение границ зерен. **(3 часа)**

Лекция 14. Межфазные границы. Когерентные, полукогерентные и некогерентные межфазные границы. Энергия, подвижность и транспортные свойства межфазных границ. Механизмы структурных превращений. Влияние строения межфазной границы на кинетику и морфологию фазового превращения. **(3 часа)**

Программа практических занятий (4 часа)

Занятие 1. Решение задач по разделу «Точечные дефекты и диффузия в кристаллах». Контрольная работа №1. **(2 часа)**

Занятие 2. Решение задач по разделу «Дислокации и механические свойства кристаллов». Контрольная работа №2. **(2 часа)**

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	6
Подготовка к контрольным работам	6
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	6
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. А.Вест. Химия твердого тела. Теория и приложения. Т.2 М. «Мир», 1988- 335 с., ISBN 5-03-000070-4 (Ч1- 47 экз., Ч2- 54 экз.)
2. Ж.Фридель. Дислокации. М. «Мир», 1967.- 643 с.(1 экз.)
3. Солодовников, С. Ф. Основы кристаллохимии : учебное пособие : [для химического отделения 4 курса ФЕН НГУ] / С.Ф. Солодовников ; М-во образования и науки РФ, Новосиб. гос. ун-т, Фак. естеств. наук, Новосибирск : Редакционно-издательский центр НГУ, 2012. - 222 с. ISBN 978-5-4437-0073-1.(10 экз.)
4. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела. М. «Наука»,1978.- 791 с. (51 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

5. Современная кристаллография т.4 Физические свойства кристаллов. Под ред. Б.К.Вайнштейна, М. «Наука», 1981 – 495с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем проведения контрольных работ и ответов на контрольные вопросы.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области дефектной структуры в кристаллах в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
------------------	---	---------------------------

<p>ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p>	<p>Знать классификацию дефектов в кристаллах, строение, механизмы и условия образования точечных дефектов и дислокаций, механизмы диффузии в кристаллах, роль диффузии и точечных дефектов при химических твердофазных реакциях, механизмы пластической деформации и разрушения кристаллов, способы регулирования механических свойств кристаллов, строение дефектов упаковки, межкристаллитных и межфазных границ, механизмы структурных превращений в твёрдых телах; современные методы исследования дефектов в кристаллах, информацию о дефектной структуре кристаллов, получаемую различными экспериментальными методами, требования к образцам и методики подготовки образцов для исследования дефектной структуры кристаллов.</p>	<p>Проведение контрольных работ, экзамен.</p>
<p>ПК 1.2 Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области</p>	<p>Уметь объяснить влияние дефектов на различные физические и химические процессы в кристаллах; определять экспериментальные методы необходимые для получения конкретной информации о параметрах дефектов и их влиянии на физические и химические свойства кристаллов.</p>	<p>Проведение контрольных работ, экзамен.</p>
<p>ПК 1.3 Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования</p>	<p>Владеть методиками, позволяющими оценить концентрацию и подвижность дефектов в кристаллах и предсказать условия их образования, владеть навыками самостоятельной работы с литературой о дефектах в кристаллах; навыками работы с базами данных о энергетических и динамических характеристиках дефектов в кристаллах.</p>	<p>Проведение контрольных работ, экзамен.</p>

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Дефекты в кристаллах».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)

обуче- ния					
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Примеры контрольных вопросов

1. Точечные дефекты в кристаллах. Основные виды. Беспорядок по Френкелю и Шоттке. Обозначения дефектов по Креггеру и Винку. Равновесная концентрация тепловых точечных дефектов. Энтальпия образования тепловых точечных дефектов.
2. Точечные дефекты, обусловленные нестехиометрией кристаллов. Квазихимические равновесия. Влияние внешней атмосферы на концентрацию точечных дефектов. Основные виды нестехиометрии в оксидах металлов. Влияние температуры на эффективный заряд точечных дефектов.
3. Точечные дефекты, обусловленные присутствием примесных атомов. Влияние примеси на концентрацию точечных дефектов в кристаллах.
4. Диффузия в твердых телах. Основные механизмы диффузии. Выражения для коэффициента диффузии в кристаллах. Энергия активации диффузии.
5. Направленная диффузия в кристаллах. 1-й закон Фика. Диффузия в поле механических напряжений – эффект Горского.
6. Ионная проводимость в кристаллах. Числа переноса. Параметры, которые можно получить из температурной зависимости ионной проводимости. Влияние примесных атомов на ионную проводимость. Изотерма Коха-Вагнера.
7. Суперионники.

8. Взаимная диффузия в твердых телах. Эффекты Киркендала и Френкеля. Методы определения коэффициента диффузии.
9. Диффузия и химические реакции. Роль диффузии и точечных дефектов при реакциях твёрдое + газ и твёрдое + твёрдое.

Примеры контрольных работ:

Контрольная работа №1 по разделу «Точечные дефекты и диффузия в кристаллах»

Контрольная работа содержит 15 вопросов по основному содержанию раздела и 2 задачи.

Примеры вопросов при тестировании (необходимо выбрать один или несколько правильных ответов).

1. В кристалле AgCl по механизму Френкеля образуются

- вакансии серебра и хлора
- межузельный атом серебра и вакансия серебра
- межузельный хлор и вакансия хлора
- серебро занимает позиции хлора, а хлор позиции серебра

2. Беспорядок по Френкелю - это

- образование только межузельных атомов
- образование вакансий
- образование вакансии и межузельного атома
- образование антиструктурного дефекта

3. Эффективный заряд межузельного атома

- равен по величине и по знаку заряду вошедшего в межузельную позицию иона
- равен по величине и противоположен по знаку заряду вошедшего в межузельную позицию иона

4. Вакансия иона А, имеющая заряд +2 обозначается

- V''_A
- A''_V
- $V^{\bullet\bullet}_A$

5. Дефектность по Шоттки в кристалле NaCl описывается квазихимическим уравнением

- «O» $\leftrightarrow V'_{Na} + V^{\bullet}_{Cl}$
- «O» $\leftrightarrow Na^{\bullet}_i + V'_{Na}$
- «O» $\leftrightarrow V'_{Cl} + V^{\bullet}_{Na}$
- «O» $\leftrightarrow Cl'_i + V^{\bullet}_{Cl}$

6. При повышенной температуре в вакууме оксид меди CuO теряет кислород. При этом проводимость образца возрастает, а плотность уменьшается. Какое из квазихимических уравнений описывает данный процесс?

- «O» $\leftrightarrow \frac{1}{2} O_2 + V^{\bullet\bullet}_O + 2 e'$
- «O» $\leftrightarrow \frac{1}{2} O_2 + Cu^{\bullet\bullet}_i + 2 e'$
- «O» $\leftrightarrow \frac{1}{2} O_2 + V''_{Cu} + 2 h^{\bullet}$

7. Кристалл AgBr дефектен по Френкелю в катионной подрешётке. Какое квазихимическое уравнение описывает процессы, происходящие при его допировании небольшим количеством Ag_2S ?

- $Ag_2S \rightarrow S^{\bullet}_{Br} + Br'_i + 2Ag^x_{Ag}$
- $Ag_2S \rightarrow S'_{Br} + Ag^{\bullet}_i + Ag^x_{Ag}$
- $Ag_2S \rightarrow S'_{Br} + V^{\bullet}_{Br} + 2 Ag^x_{Ag}$

8. Концентрация тепловых точечных дефектов с увеличением температуры...

- уменьшается
- не меняется
- возрастает

9. Какова размерность коэффициента диффузии?

- см/с
- см/с²
- см²/с

10. Что такое число переноса?

- число ионов, прошедших через образец
- вклад данного процесса в общую проводимость
- число заряженных частиц, участвующих в проводимости

Примеры задач.

1. Симмонс и Баллуфи наблюдали, что если стержень из серебра нагревается до температуры плавления, то относительное увеличение длины стержня превышает относительное увеличение параметра решётки на $5,6 \cdot 10^{-5}$. Предполагая, что единственными имеющимися дефектами являются изолированные вакансии, и принимая энтропию образования вакансии равной $1,5 R$ Дж/моль*К, вычислите энтальпию образования вакансии.

2. В ГЦК металле с параметром $a=4 \text{ \AA}$, энергии образования и миграции вакансии имеют одинаковое значение 100 кДж/моль . Найти при $T=1000 \text{ К}$:

- 1) Скорость вакансии и атома.
- 2) Путь, пройденный вакансией и атомом, за 1 час.
- 3) Диффузионный путь, пройденный вакансией и атомом, за 1 час.

3. Объясните сдвиг максимума полос поглощения F-центров в ряду хлоридов щелочных металлов:

	LiCl	NaCl	KCl	RbCl
Длина волны, нм	385	465	563	624
Параметр решётки a , \AA	2.57	2.81	3.14	3.29

В качестве модели F-центра принять, что электрон захвачен потенциалом вакансии, имеющим вид потенциальной ямы с бесконечными стенками.

Контрольная работа №2 по разделу «Дислокации и механические свойства кристаллов»

Контрольная работа содержит 15 вопросов по основному содержанию раздела и 2 задачи.

Примеры вопросов при тестировании (необходимо выбрать один или несколько правильных ответов).

1. Дислокация это ...

- линейное несовершенство решётки, являющееся границей зоны сдвига;
- линейный дефект, не являющийся границей зоны сдвига;
- плоскость, являющаяся границей зоны сдвига;
- ступенька на поверхности после сдвига.

2. Дислокации делятся на.....

- краевые;
- винтовые
- смешанные;
- прямые;

- замкнутые;
- кривые.

3. Вектор Бюргерса краевой дислокации ...

- перпендикулярен линии дислокации;
- параллелен линии дислокации;
- расположен произвольно относительно линии дислокации;
- равен вектору линии дислокации.

4. Плоскость скольжения дислокации должна содержать

- линию дислокации;
- вектор Бюргерса;
- вектор сдвига;
- контур Бюргерса.

5. Вектор Бюргерса полной дислокации

- является минимальным вектором трансляции кристаллической решётки;
- является минимальным вектором решётки Бравэ;
- является максимальным вектором трансляции кристаллической решётки;
- не является вектором трансляции кристаллической решётки.

6. В ГЦК металлах скольжение дислокаций происходит в плоскостях....

- $\{111\}$;
- $\{110\}$;
- $\{100\}$;
- $\{120\}$.

7. При переползании дислокации...

- образуются или поглощаются точечные дефекты;
- образуются перегибы дислокационной линии;
- не образуются точечные дефекты;
- не поглощаются точечные дефекты.

8. Параллельные винтовые дислокации одного знака...

- отталкиваются;
- притягиваются;
- не взаимодействуют;
- образуют дислокационные диполи.

9. На подвижность дислокаций влияют...

- дислокации леса;
- примесные атомы;
- дисперсные частицы;
- дислокации поля;
- изменение атмосферного давления.

10. Вектор Бюргерса частичной дислокации....

- меньше минимального вектора трансляции кристаллической решётки;
- равен минимальному вектору трансляции кристаллической решётки;
- равен вектору трансляции решётки Бравэ;
- равен максимальному вектору трансляции решётки Бравэ.

Примеры задач.

1. Оптические наблюдения показали, что в результате сдвиговой деформации кристалла на его поверхности образовались ступеньки высотой 10 мкм, расстояние между ступеньками равно 100 мкм. Предполагая, что ступенька образуется в результате движения дислокаций в одной плоскости скольжения, определите число дислокаций, вышедших на поверхность, необходимых для образования одной ступеньки, если вектор Бюргерса дислокации перпендикулярен поверхности и равен $5 \cdot 10^{-10}$ м. Определите величину деформации сдвига.
2. В результате облучения бездислокационного кристалла меди быстрыми нейтронами в нём образовались призматические дислокационные петли с $\rho = 10^9 \text{ см}^{-2}$ и имеющие радиус 0.1 мкм. Призматические петли образовались в результате поглощения избыточных вакансий. Определите число образовавшихся в результате облучения вакансий, предполагая, что все призматические петли имеют одинаковый размер. Кристалл имеет форму куба с ребром 1 мм.
3. Определите угол разориентировки двух областей кристалла разделенных малоугловой границей, являющейся стенкой краевых дислокаций с вектором Бюргерса $b = 3 \cdot 10^{-10}$ м, если расстояние между дислокациями равно $2 \cdot 10^{-8}$ м.

Примерные вопросы на экзамен

1. Дислокации. Вектор и контур Бюргерса. Свойства вектора Бюргерса. Энергия краевой и винтовой дислокации.
 2. Движение дислокаций: скольжение и переползание. Определение плоскости скольжения. Барьер Пайерлса-Набарро. Наблюдаемые системы скольжения (ГЦК, ОЦК и ГПУ металлы, ионные кристаллы (NaCl, CsCl)).
 3. Упругое взаимодействие между дислокациями. Полигонизация, аннигиляция и пересечение дислокаций.
 4. Образование дислокаций. Источник Франка-Рида. Методы наблюдения дислокаций.
 5. Факторы, влияющие на подвижность дислокаций. Влияние примесных атомов на подвижность дислокаций. Взаимодействие дислокаций с дисперсными частицами.
 6. Различные механизмы пластической деформации: скольжение дислокаций, дислокационная и диффузионная ползучесть. Карта механизмов пластической деформации. Сверхпластичность.
 7. Частичные дислокации. Дефекты упаковки. Энергия дефекта упаковки.
 8. Двойникование в кристаллах.
 9. Теория Гриффитса хрупкого разрушения. Эффекты Иоффе и Ребендера.
 10. Теория Орована вязкого разрушения. Механизмы образования трещины при пластической деформации.
-
1. Границы зерен. Строение границ зерен. Дислокационная модель. Решётка совпадающих узлов. О-решётка. Модель полиэдров. Специальные границы. Зернограницные дислокации.
 2. Движение границ зерен. Влияние примесных атомов и дисперсных частиц на подвижность границ зерен.
 3. Межфазные границы. Когерентные, полукогерентные и некогерентные межфазные границы. Энергия, подвижность и транспортные свойства межфазных границ.
 4. Дислокационная компенсация несоответствия. Межфазные границы совпадающих узлов. Модель полиэдров.
 5. Механизмы фазовых переходов. Влияние строения межфазной границы на кинетику и морфологию фазового превращения.

6. Сдвиговые превращения. ГЦК – ГПУ превращение в кобальте. Сверхупругость и эффект памяти формы.
7. Современные методы определения концентрации точечных дефектов в кристаллах.
8. Методы измерения ионной проводимости в кристаллах. Параметры, которые можно получить из температурной зависимости ионной проводимости.

Пример экзаменационного билета

1. Диффузия в твердых телах. Основные механизмы диффузии. Выражения для коэффициента диффузии в кристаллах. Энергия активации диффузии. Методы измерения коэффициента диффузии в кристаллах.
2. Образование дислокаций. Источник Франка-Рида. Методы наблюдения дислокаций.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации фонда оценочных средств
по дисциплине «Дефекты в кристаллах»
по направлению подготовки 03.03.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного