

ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра теоретической физики и нанотехнологий



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научно-методической
и учебной работе

Е.И. Скафа Е.И. Скафа

» апреля 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Явления переноса в кристаллах и тонких пленках

Направление подготовки: 28.03.03 Наноматериалы

Профиль подготовки:

Образовательная программа: бакалавриат

Квалификация: академический бакалавр

Форма обучения: очная, очно-заочная, заочная

Донецк 2020

УТВЕРЖДАЮ:

Декан физико-технического факультета


С.А.Фоменко

«17» апреля 2020 г.



Программа учебной дисциплины «Явления переноса в кристаллах и тонких пленках» составлена на основании Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (ГОС ВПО) Донецкой Народной Республики (ДНР) по направлению подготовки 28.03.03 Наноматериалы, утвержденного приказом Министерства образования и науки ДНР от 28 сентября 2016 г. № 987; Порядка организации учебного процесса в образовательных организациях высшего профессионального образования Донецкой Народной Республики, утвержденного приказом Министерства образования и науки ДНР № 1171 от «10» ноября 2017 г.; учебного плана и основной образовательной программы высшего профессионального образования направления подготовки 28.03.03 Наноматериалы, разработанных в ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет».

Разработчик:
Профессор кафедры
теоретической физики и нанотехнологий

 В.М. Юрченко

Программа учебной дисциплины утверждена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий
Протокол №15 от «02» апреля 2020 г.
Заведующий кафедрой

 В.Н.Варюхин

Программа учебной дисциплины одобрена учебно-методической комиссией физико-технического факультета
Протокол № 5 от «15» апреля 2020 г.

Председатель учебно-методической
комиссии факультета

 В.Н.Котенко

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ И МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

«Явления переноса в кристаллах и тонких пленках» является дисциплиной базовой части Профессионального Блока по направлению подготовки 28.03.03 Наноматериалы. Для изучения данной учебной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, сформированные в процессе изучения предметов «Механика и молекулярная физика», «Математический анализ», «Тензорный анализ», «Дифференциальные уравнения», «Электричество и магнетизм», «Оптика и физпрактикум», «Основы кристаллографии» на предыдущем уровне образования. Полученные знания используются студентами во время выполнения учебной и производственной практики, при написании выпускной квалификационной работы.

2. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

<i>Характеристика учебной дисциплины</i>		
Направление подготовки	28.03.03 Наноматериалы	
Профиль		
Образовательная программа	бакалавриат	
Квалификация	академический бакалавр	
Количество содержательных модулей	2	
Дисциплина базовой / вариативной части образовательной программы	дисциплина базовой части	
Формы контроля (МК, экзамен, зачет)	МК, экзамен	
Показатели	очная форма обучения	заочная форма обучения
Количество зачетных единиц (кредитов)	5	5
Год подготовки	3	3
Семестр	5	
Количество часов	180	180
- лекционных	36	6
- практических, семинарских	72	14
- лабораторных		
- самостоятельной работы	72	160
в т.ч. индивидуальное задание		
Недельное количество часов,	6	20
в т.ч. аудиторных	6	20

3. ОПИСАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели и задачи

Цель - формирование знаний и умений студента в области получения и изучения особенностей формирования структуры и свойств нанокристаллических материалов, ознакомить студентов с современными знаниями по физике структурообразования в тонких пленках и явлениях переноса, современными методами получения и исследования структуры и свойств пленок, а также теории получения наноструктурных и эпитаксиальных пленок.

Задачи:

- Сформировать знания о физике явлений, протекающих при образовании тонких пленок и формировании их свойств, методы получения тонких нанокристаллических пленок с заданной структурой и свойствами;
- Рассмотреть основные фундаментальные способы описания диффузных процессов в твердых телах и методы их исследования;
- Рассмотреть влияние дефектов структуры на диффузные процессы в твердых телах и способы их описания с дефектами кристаллической решетки;
- Изучить феноменологическую теорию диффузии и усвоить методы решения уравнений диффузии при различных граничных условиях;
- Изучить основы термодинамической теории диффузии, сущность и возможности современных методов определения коэффициентов диффузии;
- Изучить основы атомной теории диффузии, сущность и термодинамические характеристики возможных механизмов диффузии в твердых телах;
- Рассмотреть характер и причины влияния основных внутренних и внешних факторов на коэффициент диффузии;
- Рассмотреть особенности диффузных процессов, протекающих в специфических условиях.

Требования к результатам освоения дисциплины. Процесс изучения дисциплины «Явления переноса в кристаллах и тонких пленках» направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ГОС ВПО ДНР по направлению подготовки 28.03.03 Наноматериалы и основной образовательной программы высшего профессионального образования направления подготовки 28.03.03 Наноматериалы.

а) общекультурных (ОК):

- способность к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);
- способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения (ОК-10);

б) общепрофессиональных (ОПК):

- способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей (ОПК-2);
- способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (ОПК-3);
- способность применять основы методов исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств наноматериалов и наносистем неорганической и органической природы, в твердом, жидком, гелеобразном, аэрозольном состоянии, включая нанопленки и наноструктурированные покрытия, внутренние и внешние границы раздела фаз, а также физических и химических процессов в них или с их участием (ОПК-4);

в) профессиональных (ПК):

научно-исследовательская и проектная деятельность:

- способность использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской деятельности в области материаловедения и технологии наноматериалов и наносистем (ПК-1);
- способность использовать на практике современные представления наук о свойствах веществ и материалов при переходе их в наноразмерное состояние (ноль, одно и двумерное), о влиянии размера на свойства веществ и материалов, взаимодействии наноматериалов и наносистем с окружающей средой (ПК-2);
- способность применять навыки использования принципов и методик комплексных исследований, испытаний и диагностики изделий из наноматериалов и процессов их

производства, обработки и модификации, включая стандартные и сертификационные испытания (ПК-3);

- способность применять навыки использования (под руководством) методов моделирования, оценки, прогнозирования и оптимизации технологических процессов и свойств наноматериалов, стандартизации и сертификации материалов и процессов (ПК-4).

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- современные теории формирования структуры пленочных материалов;
- современные методы получения наноструктурных и эпитаксиальных пленок;
- методы исследования структуры, состава и физических свойств поверхности и тонких пленок;
- механизмы формирования наноразмерных структур;
- основные характеристики диффузии в наноструктурных материалах;
- теории диффузии в объеме и на межкристаллитной и межфазных поверхностях;
- связь между структурой и параметрами диффузии;
- методы определения коэффициентов диффузии в одно-, двух- и многокомпонентных системах;
- факторы, влияющие на скорость диффузии в наноструктурных материалах;
- физическую сущность процессов, протекающих в ведущих, полупроводниковых, диэлектрических, магнитных пленках, созданных на основе этих материалов, в том числе и при воздействии внешних полей и изменении температуры;

уметь:

- рассчитать эпитаксиальную температуру для данной пары "подложка-пленка" и толщину наращиваемой пленки;
- определять структуру и фазовый состав пленки, кристаллографических ориентаций, микротвердость, поверхностный электросопротивление и другие характеристики тонких пленок;
- рассчитывать коэффициенты диффузии и энергию активации диффузии компонентов в одно-, двух- и многокомпонентных системах;
- учитывать влияние примесей, дефектов, фазовых превращений и т.п. на явления переноса.

владеть навыками: расчета эпитаксиальной температуры для данной пары "подложка-пленка" и толщину наращиваемой пленки; определения структуры и фазового состава пленки, кристаллографических ориентаций, микротвердость, поверхностный электросопротивление и другие характеристики тонких пленок; расчета коэффициента диффузии и энергии активации диффузии компонентов в одно-, двух- и многокомпонентных системах.

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ И ФОРМЫ ОРГАНИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Порядковый номер и тема	Краткое содержание темы
<i>Содержательный модуль 1 «Физика тонких пленок»</i>	
<i>Тема</i> Пленочное состояние материалов.	<i>1.</i> Разновидности микроструктуры тонких пленок. Механизмы роста пленок. Дефекты в пленках. Дислокации несоответствия. Напряжение в пленках.

Тема 2. Нанокристаллы.	Типы нанокристаллов. Макроскопическая теория образования нанокристаллов. Столбчатые и шаровые структуры.
Тема 3. Эпитаксиальный рост пленок	Макроскопическая теория эпитаксиального роста. Температурный критерий эпитаксии.
Тема 4. Размерные эффекты.	Фазовый размерный эффект. Влияние размера кристаллитов на период решетки пленки. Изменение температуры плавления нанобъектов. Фазовые переходы "аморфная фаза-кристалл" в тонких пленках.
Тема 5. Методы получения пленок.	Химические методы: CVD-технология, электрохимическое осаждение, химическое осаждение. Методы: термическое испарение, катодное распыление (двух- и трехэлектродный варианты), реактивное катодное распыление, магнетронного распыления, ВЧ - распыление, ионная имплантация, конденсация и ионное бомбардировки.
Тема 6. Методы получения эпитаксиальных пленок.	Вакуумная эпитаксия. Газовая эпитаксия. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Жидкофазная эпитаксия. Твердофазная эпитаксия.
Тема 7. Методы исследования пленок.	Рентгеновский фазовый анализ тонких пленок. Рентгеновский метод в скользящих лучах. понимание квантовых свойств наноструктур и др. Текстура в пленках. Электронное изучение тонкой структуры пленок. Масс-спектроскопическое исследование пленок. Определение микротвердости и наноиндентирования. Измерение толщины пленок.
Тема 8. Механические свойства тонких пленок.	Адгезия пленок и ее измерение. Прочность и твердость пленок и их определения. Упругость и пластичность пленок. Напряжение в плавках и методы их измерения.
Тема 9. Электрические свойства тонких пленок	Измерение электроопору пленок. Классический размерный эффект в электропроводности и ТКО тонких пленок. Квантовый размерный эффект в электропроводности тонких пленок.
Тема 10. Сверхпроводящие свойства тонких пленок.	Изменение критической температуры пленок под воздействием внешних факторов. Размерный эффект в сверхпроводимости тонких пленок. Сверхпроводящие свойства аморфных пленок. Критические магнитные поля и критический ток.
Тема 11. Магнитные свойства тонких пленок.	Намагниченность в тонких пленках. Методы изучения магнитных свойств пленок. Размерный эффект в намагниченности пленок. Доменные стенки и их движение в пленках. Цилиндрические магнитные домены.
Тема 12. Диэлектрические и оптические	Особенности физических процессов в диэлектрических пленках. Пьезоэлектрические свойства пленок. Оптические свойства тонких пленок.

свойства тонких пленок.	
Тема 13. Нерешенные проблемы физики тонких пленок.	Трудности интерпретации явления перехода пленок из аморфного в кристаллическое состояние, отсутствие моделей влияния структуры и толщины пленок на критическую температуру сверхпроводящего перехода, более глубокое
	Содержательный модуль 2 «Явления переноса в твердых телах»
Тема 1. Понятие о явлениях переноса.	Понятие о явлениях переноса. Виды диффузии в твердых телах.
Тема 2. Макроскопическое описание массопереноса	1 уравнения Фика, коэффициент диффузии. Разные типы коэффициентов диффузии. Влияние симметрии кристалла на коэффициенты диффузии. Принцип Неймана. 2 уравнения Фика. Частное решение 2 уравнения Фика. Концентрационная зависимость коэффициента диффузии. Метод Матано-Больцмана.
Тема 3. Экспериментальные методы определения коэффициента диффузии.	Классификация методов. Метод снятия слоев. Метод интегрального остатка. Адсорбционные методы. Авторадиографические методы. Чувствительность методов. Локальный рентгеноспектральный метод. Рентгенографический метод. Релаксационные методы. Сравнение чувствительности методов.
Тема 4. Микроскопическое описание диффузии.	Механизмы диффузии. Атомная теория диффузии. Диффузия как процесс случайных блужданий. Связь коэффициента диффузии с длиной и частотой скачка диффундирующего атома. Диффузия в ГЦК-кристаллах. Связь коэффициента диффузии с характеристиками вакансий. Температурная зависимость коэффициента диффузии (уравнения Аррениуса).
Тема 5. Диффузия в твердых растворах (Взаимная диффузия)	Эффект Киркендалла. Количественное описание эффекта Даркеном. Преимущества и недостатки метода Даркена. Эффект Френкеля (диффузионного порообразования).
Тема 6. Термодинамическая теория диффузии.	Действующие силы диффузии. Уравнения Эйнштейна - Смолуховского. Уравнение Даркена. Восходящая диффузия.
Тема 7. Принципы Онзагера.	Описание диффузии в бинарной системе по Онзагеру. Определение термодинамических сил. Условия применения 1 уравнения Фика.
Тема 8. Термодиффузия в бинарных твердых растворах	. Феноменологическое описание термодиффузии. Теплота переноса. Экспериментальное определение теплоты переноса.
Тема 9. Диффузия в электрическом поле.	Феноменологическое описание электропереноса. Механизм передвижения ионов при электропереносе. Электродиффузионный потенциал. Эффективный заряд иона, заряд захвата и его оценка. Эффект "электронного ветра".

Тема 10. Влияние дефектов структуры на диффузию в твердых телах	. Влияние неравновесных (избыточных) вакансий на диффузию. Влияние дислокаций на диффузию. Модели диффузии по дислокациям: модель Смолуховского; модель Харта. Зернограничная диффузия. Описание зернограничной диффузии по Фишеру. Кинетические режимы диффузии по границам зерен. Влияние различных факторов на диффузию по границам зерен. Анизотропия диффузии по границам зерен. Механизм диффузии по границам зерен. Влияние адсорбции в пределах зерен на диффузию
Тема 11. Влияние фазовых превращений на диффузию	Влияние однократного (предыдущего) полиморфного превращения. Диффузия в условиях многократного полиморфного превращения. Влияние механизма преобразования.
Тема 12. Квантовая диффузия.	Понятие о квантовой кристаллы. Туннельный механизм элементарного акта диффузии. Дефектоны. Квантовая диффузия как движение дефектонов. Экспериментальное подтверждение квантовой диффузии.
Тема 13. Особенности диффузии в нанокристаллических материалах (НС).	Экспериментальные результаты. Модели границ зерен в НМ. Влияние технологии получения НМ на диффузию. Эффекты активации некоторых процессов в НМ зернограничными потоками. Диффузия в тонких поликристаллических пленках

Тематический план

Содержательный модуль 1												
Названия содержательных модулей и тем	Количество часов											
	Очная форма обучения						Заочная форма обучения					
	всего	в т.ч.					всего	в т.ч.				
		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа
Тема 1. Пленочное состояние материалов.	7	1	3		3		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 2. Нанокристаллы.	7	1	3		3		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 3. Эпитаксиальный рост пленок	7	1	3		3		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 4. Размерные эффекты.	7	1	3		3		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 5. Методы получения пленок.	7	1	3		3		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 6. Методы получения эпитаксиальных пленок.	7	1	3		3		6,6	0,2	0,4		6	

Тема 7. Методы исследования пленок.	7	1	3		3		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 8. Механические свойства тонких пленок.	7	1	3		3		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 9. Электрические свойства тонких пленок.	8	2	3		3		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 10. Сверхпроводящие свойства тонких пленок.	8	2	3		3		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 11. Магнитные свойства тонких пленок.	6	2	2		2		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 12. Диэлектрические и оптические свойства тонких пленок.	6	2	2		2		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 13. Нерешенные проблемы физики тонких пленок.	6	2	2		2		10,8	0,6	2,2		8	
Всего по модулю 1	90	18	36		36		90	3	7		80	

Тематический план

Содержательный модуль 2												
Названия содержательных модулей и тем	Количество часов											
	Очная форма обучения						Заочная форма обучения					
	всего	в т.ч.					всего	в т.ч.				
		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа		лекции	практические	лабораторные	самостоятельная работа	индивидуальная работа
Тема 1. Понятие о явлениях переноса.	7	1	3		3		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 2. Макроскопическое описание массопереноса	7	1	3		3		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 3. Экспериментальные методы определения коэффициента диффузии.	7	1	3		3		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 4. Микроскопическое описание диффузии.	7	1	3		3		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 5. Диффузия в твердых растворах (Взаимная диффузия)	7	1	3		3		6,6	0,2	0,4		6	

Тема 6. Термодинамическая теория диффузии.	7	1	3		3		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 7. Принципы Онзагера.	7	1	3		3		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 8. Термодиффузия в бинарных твердых растворах	7	1	3		3		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 9. Диффузия в электрическом поле.	8	2	3		3		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 10. Влияние дефектов структуры на диффузии в твердых телах	8	2	3		3		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 11. Влияние фазовых превращений на диффузию	6	2	2		2		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 12. Квантовая диффузия.	6	2	2		2		6,6	0,2	0,4		6	
Тема 13. Особенности диффузии в нанокристаллических материалах (НС).	6	2	2		2		10,8	0,6	2,2		8	
Всего по модулю 2	90	18	36		36		90	3	7		80	
Итого по модулю	180	36	72		72		180	6	14		160	

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛЕКЦИОННЫХ, ПРАКТИЧЕСКИХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Темы лекционных занятий

№ п/п	Название темы	Количество часов
1	Пленочное состояние материалов.	1
2	Нанокристаллы.	1
3	Эпитаксиальный рост пленок	1
4	Размерные эффекты.	1
	Методы получения пленок.	1
	Методы получения эпитаксиальных пленок.	1
	Методы исследования пленок.	1
	Механические свойства тонких пленок.	1
	Электрические свойства тонких пленок.	2
	Сверхпроводящие свойства тонких пленок.	2
	Магнитные свойства тонких пленок.	2
	Диэлектрические и оптические свойства тонких пленок.	2
	Нерешенные проблемы физики тонких пленок.	2
	Понятие о явлениях переноса.	1

	Макроскопическое описание массопереноса	1
	Экспериментальные методы определения коэффициента диффузии.	1
	Микроскопическое описание диффузии.	1
	Диффузия в твердых растворах (Взаимная диффузия)	1
	Термодинамическая теория диффузии.	1
	Принципы Онзагера.	1
	Термодиффузия в бинарных твердых растворах	1
	Диффузия в электрическом поле.	2
	Влияние дефектов структуры на диффузии в твердых телах	2
	Влияние фазовых превращений на диффузию	2
	Квантовая диффузия.	2
	Особенности диффузии в нанокристаллических материалах (НС).	2
	ВСЕГО	36

Темы практических занятий

<i>№ п/п</i>	<i>Название темы</i>	<i>Количество часов</i>
1	Методы получения эпитаксиальных пленок	10
2	Методы исследования тонких пленок	10
3	Определение сопротивления, удельного сопротивления и ТКС с учетом параметра зеркальности	10
4	Определение оптических свойств пленок	10
5	Определение коэффициента диффузии и энергии активации диффузии при макроскопическом описания явлений переноса по результатам экспериментов.	10
6	Определение параметров диффузии в твердых растворах по эффекту Киркендала.	10
7	Определение параметров термодиффузии и электропереноса	12
	ВСЕГО	72

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Организация самостоятельной работы студентов

<i>№ п/п</i>	<i>Название темы</i>	<i>Количество часов</i>
1	Трансляционный (конвективный) перенос.	15
2	Уравнения переноса. Связь полей и потоков. Диффузия. Электропроводность, теплопроводность. Вязкое течение.	15
3	Уравнение диффузии	15
4	Уравнение Навье –Стокса	15
5	Уравнение теплопроводности. Краевые условия уравнения диффузии и теплопроводности.	12
	ВСЕГО	72

7. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ *(не предусмотрено рабочим планом)*

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

1. Пленочное состояние материалов.
2. Нанокристаллы.
3. Эпитаксиальный рост пленок
4. Размерные эффекты.
5. Методы получения пленок.
6. Методы получения эпитаксиальных пленок.
7. Методы исследования пленок.
8. Механические свойства тонких пленок.
9. Электрические свойства тонких пленок. фазовых переходов..
10. Сверхпроводящие свойства тонких пленок.
11. Магнитные свойства тонких пленок.
12. Диэлектрические и оптические свойства тонких пленок.
13. Нерешенные проблемы физики тонких пленок.

9. ОБРАЗЕЦ МОДУЛЬНОГО КОНТРОЛЯ *(образец варианта и критерии оценивания)*

ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Факультет физико-технический

Направление подготовки: **28.03.03 Наноматериалы**
Профиль: _____
Программа подготовки: **бакалавриат**
Семестр **5**
Учебная дисциплина **Явления переноса в кристаллах и тонких пленках**

МОДУЛЬНАЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ВАРИАНТ №1

1. Методы исследования пленок.
2. Размерные эффекты.
3. Диэлектрические свойства тонких пленок.

Утверждено на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий,
протокол № ____ от «__» _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой _____
Преподаватель _____

Критерии оценивания модульного контроля

<i>Номер задания</i>	<i>Количество баллов</i>
Задание 1	10
Задание 2	10
Задание 3	10
<i>Всего</i>	<i>30</i>

10. ОБРАЗЕЦ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА

Теоретические вопросы к экзамену

1. Кристаллические структуры, формула кристалла – базис и кристаллические структуры, 7 сингоний и решетки Браве – двумерные и трехмерные, плоскости и индексы Миллера, ячейки Вигнера – Зейтца, закон Вульфа– Брэгга и др.
2. Три типа излучения – рентген, оже – спектроскопия и нейтронное излучение.
3. Дифракционные методы – метод Лауэ, метод вращения кристалла и метод порошка.
4. Условия дифракции; обратная решетка, зоны Бриллюэна; атомный и структурный факторы.
5. Кристаллы инертных газов – силы Ван – дер – Вальса.
6. Ионные кристаллы – электростатическая энергия и/или энергия Маделунга.
7. Объемный модуль упругости и сжимаемость.
8. Металлические кристаллы – представления Друде и Зоммерфельда; время релаксации, длина свободного пробега.
9. Ковалентные кристаллы и кристаллы с F - связью.
10. Явления переноса в кристаллах и тонких пленках: теплопроводность (перенос энергии) – теплоотдача, конвекция и излучение.
11. Диффузия (перенос массы) в кристаллах и тонких пленках.
12. Вязкость (перенос импульса) в кристаллах и тонких пленках.
13. Классификация дефектов в кристаллах – точечные или одномерные дефекты; линейные или одномерные; поверхностные или двумерные дефекты – межзеренные и межфазные границы; поры и трещины в кристаллах: по Оровану, Ирвину, Гриффитсу и Баренблатту.
14. Взаимодействие заряженных дефектов с границами раздела – границы наклона и кручения.
15. Магнитные точечные дефекты и центры дилатации.
16. Упругие свойства кристаллов; упругие постоянные и сжимаемость кристаллов.
17. Уравнения Фика – 1 и 2 уравнения Фика.
18. Обогащения границ зерен точечными дефектами, явления ползучести, пластичности, упрочнения и деградации материалов.
19. Локальные и глобальные нарушения симметрии. Явления сегрегации. Роль граничных условий при сегрегации: условия Мак Лина, Ленгмюра, Фаулера и др.
20. Открытые и закрытые системы. Термодинамические потенциалы: внутренняя и свободная (потенциал Гельгольца) энергии; потенциал Гиббса и энтальпия; большой термодинамический потенциал.
21. Конкурентный и кооперативный механизмы взаимодействия примесей. Энергия смешения.
22. Взаимодействие примесей двух сортов с границей бикристалла. Кинетика сегрегации примесей в поликристаллах. Уравнения Фика и принцип Онзагера.
23. Энергия границ раздела. Дислокационная модель малоугловых границ и ее энергия. Поверхностная энергия границ раздела – первое и второе борновское приближения; маделунговская составляющая поверхностной энергии. Структурный и атомный факторы – внутренний структурный фактор.
24. Эпитаксия. Модели Франка и Ван дер Мерве.
25. Локализованные состояния на границах раздела. Поверхностные волны Релея. Таммовские поверхностные уровни.
26. Поверхностные состояния на межзеренных границах (модель Кронига – Пенни, потенциал Матъе): - «чертова» лестница.
27. Поверхностные волны на межкристаллитных границах.

28. Сегрегация: распадные явления и явления упорядочения на интерфейсах. Формирование островковой структуры на поверхностях интерфейса.
29. Спинодаль и бинодаль.
30. Температурные и концентрационные зависимости свободной энергии Гельмгольца.
31. Неупорядоченные системы, дисклинации в неупорядоченных материалах; границы зерен, зернограницные сегрегации и методы их исследований.
32. Нанокластеры и нанокластерные системы; фрактальные системы. Фуллерены и нанотрубки.
33. Размерные эффекты в нанокристаллических материалах.

ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет физико-технический

Направление подготовки: **28.03.03 Наноматериалы**

Профиль:

Программа подготовки: **бакалавриат**

Семестр **5**

Учебная дисциплина **Явления переноса в кристаллах и тонких пленках**

БИЛЕТ №1

1. Открытые и закрытые системы. Термодинамические потенциалы: внутренняя и свободная (потенциал Гельмгольца) энергии.
2. Спинодаль и бинодаль.
3. Температурные и концентрационные зависимости свободной энергии Гельмгольца.

Утверждено на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий,
протокол № ____ от «____» _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой _____

Экзаменатор _____

Критерии оценивания экзамена

<i>Номер задания</i>	<i>Количество баллов</i>
Задание 1	15
Задание 2	15
Задание 3	20
Всего	50 баллов

11. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

По курсу «Явления переноса в кристаллах и тонких пленках» предполагается проведение промежуточной аттестации в виде модульного контроля, выполнение индивидуальной работы и экзамена. Экзамен сдают студенты с целью повышения рейтинга.

*Распределение баллов, которые могут получить студенты
в процессе изучения дисциплины*

Организационно учебная работа студента	СРС		Всего
	Индивидуальная работа	Модульный контроль	

max 10 баллов	max 10 баллов	max 30 баллов	100
---------------	---------------	------------------	-----

Шкала соответствия баллов национальной шкале

Оценка по шкале ECTS	Оценка по 100-балльной шкале	Оценка по государственной шкале (экзамен, дифференцированный зачет)	Оценка по государственной шкале (зачет)
A	90-100	5 (отлично)	зачтено
B	80-89	4 (хорошо)	зачтено
C	75-79	4 (хорошо)	зачтено
D	70-74	3 (удовлетворительно)	зачтено
E	60-69	3 (удовлетворительно)	зачтено
FX	35-59	2 (неудовлетворительно) с возможностью повторной сдачи	не зачтено
F	0-34	2 (неудовлетворительно) с возможностью повторной сдачи при условии обязательного набора дополнительных баллов	не зачтено

12. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Лекционные и практические занятия по учебной дисциплине «Явления переноса в кристаллах и тонких пленках» проводятся в учебной лаборатории №016 «Физика полупроводников». Лаборатория оснащена комплектом учебной мебели на 18 посадочных мест, фломастерной доской, 1 ноутбук с лицензионным программным обеспечением, доступом к сети Интернет, 1 мультимедийный проектор, 1 экран переносной, 1Вакуумный универсальный пост -2К, 1 Форвакуумный насос, 1 Спектрометр СМ - 4А. В учебной лаборатории «Электронной микроскопии» №313, оборудованной комплектом учебной мебели на 6 посадочных мест, комплект рабочего места преподавателя, 1 ноутбук с лицензионным программным обеспечением, доступом к сети Интернет, 1 Электронный микроскоп вакуумный-100ЛМ, 1 Микроскоп металлографический-7, 1 Вакуумметр ионизационно-термопарный-2АП, 1Вакуумный универсальный пост-4.

Самостоятельная работа студентов проходит в читальном зале справочно-библиографической информационной работы (ауд. № 102: г. Донецк, пр. Гурова, 6), помещение оснащено комплектом учебной мебели на 23 посадочных места, компьютер в комплекте (1 шт); в зале электронной информации (Донецк, пр. Гурова, 6, № 104-а.). Помещение оснащено комплектом учебной мебели на 40 посадочных мест, компьютер в комплекте (6 шт);

Индивидуальные и групповые консультации студентам для проведения самостоятельной работы предоставляются в кабинете кафедры теоретической физики и нанотехнологий, укомплектованном комплектом мебели на 12 посадочных мест, оснащенном компьютером в комплекте (1 шт.), принтером, сканером, расположенном по адресу г. Донецк, пр. Театральный 13, ауд. 256.

13. РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

№ п/п	Наименование	Кол-во экземпляров в библиотеке ДонНУ	Наличие электронной версии в ЭБС
----------	--------------	--	---

Основная литература			
1.	Терехов С. В. Физика нанообъектов: [учебное пособие] / С. В. Терехов, В. Н. Варюхин; ГОУ ВПО «ДонНУ» - Донецк: ДонНУ, 2013. – 418 с.	4	
2.	Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. – Изд. 2-е. – Москва: Физматлит, 2009. – 414 с.	6	
3.	Юрченко В.М. Новые магнитные, оптические и сверхпроводимые наноматериалы [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / В.М.Юрченко - Донецк: ДонНУ, 2019. - Электронные данные (1 файл)	1	
4.	Милославский А.Г. Конспект лекций по курсу «Основы процессов микро- и нанотехнологий». – Донецк: ДонНУ, 2018. – 246 с.	2	
Дополнительная литература			
5.	Нанотехнологии и специальные материалы: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 140140 – Техн. физика / Ю. П. Солнцев, Е. И. Прякин, С. А. Вологжанина, А. П. Петкова; под ред. Ю. П. Солнцева. – Санкт-Петербург: Химиздат, 2009. – 334, [1] с.	1	
6.	Нанотехнологии: азбука для всех / Н. С. Абрамчук, С. М. Авдошенко, А. Н. Баранов и др.; под ред. Ю. Д. Третьякова. – 2-е изд. – Москва: Физматлит, 2009. – 365 с.	4	
7.	Терехов С. В. Вариационные принципы классической механики / С. В. Терехов, В. Н. Варюхин, А. Г. Петренко; ГОУ ВПО "Донецкий национальный университет", Физико-технический факультет, Кафедра теоретической физики и нанотехнологий. – Донецк: ГОУ ВПО "ДонНУ", 2018. – 52 с.	6	

14. ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ

<http://donnu.ru/> – сайт ДонНУ.

<http://library.donnu.ru/> – сайт библиотеки ДонНУ.

<http://library.donnu-support.ru/catalog/scripts/wek2.exe/mb> - Электронный каталог ДонНУ

15. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Windows 7 PRO (корпоративная лицензия ДОННУ № 46484614);
2. Microsoft Office (корпоративная лицензия ДОННУ лицензия № 46472919);
3. Microsoft Visual Studio (лицензия программы DreamSpark для высших учебных заведений);
4. Лицензии GPL, Apache, BSD для свободного программного обеспечения: FreeLab, Scilab, Free Pascal, Антивирус Касперского, Adobe Acrobat Reader, xPDF

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий с изменениями (без изменений) на 20__ год.

Протокол № __ от “__” _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой _____

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры теоретической физики и нанотехнологий с изменениями (без изменений) на 20____ год.

Протокол № ____ от “__” _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой _____