ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра теоретической физики и нанотехнологий

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по научно-методической
и учебной работе
_____Е.И.Скафа
«21» декабря 2016 г.
МП

Рабочая программа учебной дисциплины

«СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА В КРИСТАЛЛАХ И ТОНКИХ ПЛЕНКАХ»

Направление подготовки:	03.03.02 Физика
Профиль подготовки:	Общий
Образовательный уровень выпускника:	Академический бакалавр
Форма обучения:	***очная***

Донецк 2016

УТВЕРЖДАЮ:
Декан физико-технического факультета
_____ Малюк Н.Г.
« 16 » декабря 2016 г.
М.П.

Программа учебной дисциплины **«СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И ЯВЛЕНИЯ ПЕРЕНОСА В КРИСТАЛЛАХ И ТОНКИХ ПЛЕНКАХ»** составлена на основе ГОС ВПО по направлению подготовки 03.03.02 Физика, утверждённого приказом Министерства образования и науки ДНР «04» апреля 2016 г. №284 и «Положения об организации учебного процесса в образовательных организациях высшего профессионального образования Донецкой Народной Республики», утверждённого приказом Министерства образования и науки ДНР «30» октября 2015 г. №750.

Разработчик
Д. ф.-м. н., профессор кафедры теоретической физики и нанотехнологий _____ Юрченко В.М.

Д. ф.-м. н., профессор кафедры теоретической физики и нанотехнологий _____ Милославский А.Г.

Программа учебной дисциплины утверждена на заседании
кафедры теоретической физики и нанотехнологий
Протокол № 8 от «12» декабря 2016 г.
Зав. кафедрой теоретической физики и нанотехнологий _____ Варюхин В.Н.

Программа учебной дисциплины одобрена учебно-методической комиссией
физико-технического факультета

Протокол № 4 от «14» декабря 2016 г.

Председатель учебно-методической комиссии факультета _____ Котенко В.Н.

1. Область применения и место дисциплины в учебном процессе:

Программа учебной дисциплины **«Структурообразование и явления переноса в кристаллах и тонких пленках»** является частью основной образовательной программы в соответствии с ГОС по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» и состоит из трех модулей: 1) «Структура кристаллов и типы связей в них», 2) «Явления переноса в кристаллах и тонких пленках», 3) «Явления переноса в поликристаллах ».

Учебная дисциплина «Структурообразование и явления переноса в кристаллах и тонких пленках» принадлежит к вариативной части профессионального блока учебного плана.

Основывается на базе дисциплин: «Общая и экспериментальная физика», «Математический анализ», «Векторный и тензорный анализ», «Дифференциальные уравнения. Интегральные уравнения и вариационное исчисление», «Кристаллофизика, теория и методы структурного анализа ».

2. Нормативные ссылки *(при необходимости)*

3. Структура дисциплины *(модуля)*

Характеристика учебной дисциплины	очная форма обучения на базе		*заочная форма обучения на базе		
	СОО	СПО (ускор.)	СОО	СПО (ускор.)	ВПО (ускор.)
Образовательный уровень:	Академический бакалавр				
Направление подготовки	03.03.02 «Физика»				
Профиль					
Количество содержательных модулей (тем)	***3 (14)***				
Дисциплина базовой / вариативной части образовательной программы [1]	**Профессиональный блок,** вариативная часть				
Формы контроля	модульный контроль и зачет				
Показатели	очная форма обучения на базе		*заочная форма обучения на базе		
	СОО	*СПО (ускор.)	СОО	СПО (ускор.)	ВПО (ускор.)
Количество зачетных единиц (кредитов)	2,5				
Количество часов	90				
Год подготовки	4				
Семестр	8				
Количество часов					
- лекционных					
- практических, семинарских	30				
- лабораторных					
- самостоятельной работы	60				
в т.ч. индивидуальное задание					
Недельное количество часов, т.ч.					
аудиторных	3				

СОО – среднее общее образование

СПО – среднее профессиональное образование

ВПО – высшее профессиональное образование

1- в соответствии с ООП (основной образовательной программой)

4. Описание дисциплины

Цели и задачи 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 явлений переноса, современными методами получения и исследования структуры и свойств пленок, а также теории получения наноструктурных и эпитаксиальных пленок.

Требования к результатам освоения дисциплины: Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ГОС ВПО по данному направлению подготовки (профилю):

общекультурные компетенции (ОК):

- способность использовать основы философских знаний для формирования мировоззренческой позиции (ОК-1);
- способность анализировать основные этапы и закономерности исторического развития общества для формирования гражданской позиции (ОК-2);
- способность использовать основы экономических знаний в различных сферах жизнедеятельности (ОК-3);

общепрофессиональные компетенции (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 понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, осознавать опасность и угрозу, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности (ОПК-4);

профессиональные компетенции (ПК):

научно-исследовательская и проектная деятельность:

- способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1);
- способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта (ПК-2);

научно-инновационная деятельность:

- способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований (ПК-5);

организационно-управленческая деятельность:

- способность участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме (ПК-7);

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 эпитаксиальных 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**
	Содержательный модуль 1. «Механизмы роста тонких пленок***»***
Тема 1.	Закон Фика. Механизмы диффузии в твердых телах
Тема 2.	Молекулярно-лучевая эпитаксия
Тема 3.	Механизмы эпитаксиального роста тонких пленок
Тема 4.	Рост из газовой фазы с использованием металлоорганических соединений Получение многослойных магнитных структур методом электролитического осаждения
	Содержательный модуль 2. «Методы получения тонких пленок. Физические вакуумные методы***»***
Тема 5.	Термовакуумное напыления. Ионно-плазменные методы получения тонких пленок
Тема 6.	Катодное распыление. Трехэлектродная система распыления
Тема 7.	Высокочастотное распыление. Реактивное распыление
Тема 8.	Магнетронное распыление
Тема 9.	Ионно-лучевые методы получения тонких пленок. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Лазерное распыление
	Содержательный модуль 3. «Химические методы получения тонких пленок***»***
Тема 10.	Реактивное катодное распыление.

Тема 11.	Газовазная МОС-гидридная эпитаксия с использованием металлоорганических соединений (МОСГЭ)
Тема 12.	Жидкофазная эпитаксия
Тема 13.	Электрохимическое осаждение покрытий
Тема 14.	Химическая металлизация

Курс дисциплины предусматривает следующие **формы организации учебного процесса**:

1. практические занятия;
2. самостоятельная работа студента.

По источнику передачи и восприятия учебной информации используются словесные (беседа), наглядные (иллюстрация, демонстрация), практические (упражнения) методы.

По характеру познавательной деятельности студентов используются объяснительно-иллюстративные и репродуктивные методы, проблемное преподавание, частично-поисковый и исследовательский методы.

В зависимости от основной дидактической цели и задач используются методы устного изложения знаний, закрепление учебного материала, самостоятельной работы студентов по осмыслению и усвоению нового материала, работы по применению знаний на практике и выработке умений и навыков, проверки и оценки знаний, умений и навыков.

Используются следующие методы контроля:

1. проверка самостоятельных работ;
2. итоговый тест по вопросам к зачету.

	Содержательный модуль 1. « Механизмы роста тонких пленок																					
Названия содержательных модулей и тем	**Количество часов**																					
	Очная форма						**Заочная форма**															
							на базе среднего общего образования						**на базе среднего профессионального образования**						**на базе высшего профессионального образования**					
	Всего	в т.ч.					всего	в т.ч.					всего	в т.ч.					всего	в т.ч.				
		лекции	практические	лабораторные	работасамостоятельная	работаиндивидуальная		лекции	Практические	лабораторные	работасамостоятельная	работаиндивидуальная		лекции	практические	лабораторные	работасамостоятельная	работаиндивидуальная		лекции	практические	работасамостоятельная	работаиндивидуальная
Тема 1 Закон Фика. Механизмы диффузии в твердых телах	7		2		5																		
Тема 2. Молекулярно-лучевая эпитаксия	7		2		5																		
Тема 3. Механизмы эпитаксиального роста тонких пленок	8		3		5																		
Тема 4 Рост из газовой фазы с использованием металлоорганических соединений	8		3		5																		
Итого по	30		10		2																		

содержательному модулю 1.					0																		

Содержательный модуль 2. « Методы получения тонких пленок. Физические вакуумные методы **»**																						
Названия содержательных модулей и тем	**Количество часов**																					
	Очная форма						**Заочная форма**															
							на базе общего среднего образования						**на базе среднего профессионального образования**						**на базе высшего профессионального образования**			
	Всего	в т.ч.					всего	в т.ч.					всего	в т.ч.					всего	в т.ч.		
		лекции	практические	лабораторные	работасамостоятельная	работаиндивидуальная		лекции	практические	лабораторные	работасамостоятельная	работаиндивидуальная		лекции	практические	лабораторные	работасамостоятельная	работаиндивидуальная		лекции	практические	работасамостоятельная	работаиндивидуальная
Тема 5. Термовакуумное напыления. Ионно-плазменные методы получения тонких пленок	6		2		4																	
Тема 6. Катодное распыление. Трехэлектродная система распыления	6		2		4																	
Тема 7. Высокочастотное распыление. Реактивное распыление	6		2		4																	
Тема 8.	6		2		4																	

Магнетронное распыление																							
Тема 9. Ионно-лучевые методы получения тонких пленок	6		2		4																		
Итого по содержательному модулю 2.	30		10		20																		

	Содержательный модуль 3. « Химические методы получения тонких пленок **»**																						
Названия содержательных модулей и тем	**Количество часов**																						
	Очная форма						**Заочная форма**																
							на базе общего среднего образования						**на базе среднего профессионального образования**						**на базе высшего профессионального образования**				
	Всего	в т.ч.					всего	в т.ч.					всего	в т.ч.					всего	в т.ч.			
		лекции	практические	лабораторные	работасамостоятельная	индивидуальная работа		лекции	практические	лабораторные	работасамостоятельная	индивидуальная работа		лекции	практические	лабораторные	работасамостоятельная	индивидуальная работа		лекции	практические	работасамостоятельная	индивидуальная работа
Тема 10. Реактивное катодное распыление	6		2		4																		
Тема 11. Газовазная МОС-гидридная эпитаксия	6		2		4																		

с использованием металлоорганических соединений (МОСГЭ)																							
Тема 12. Жидкофазная эпитаксия	6		2		4																		
Тема 13. Электрохимическое осаждение покрытий	6		2		4																		
Тема 14. Химическая металлизация	6		2		4																		
Итого по содержательному модулю 3.	30		10		20																		
Всего по модулю	90		30		60																		

6. Темы практических занятий

1. Явления переноса. Кинетическое уравнение.
2. Функция распределения. Электропроводность.
3. Теплопроводность.
4. Концепция длины свободного пробега.
5. Рассеяние на примесях и электронах.
6. Кинуравнение при наличии магнитного поля.
7. Электрические и градиентные поля. Принцип Онзагера.
8. Аномальный и нормальный скин – эффекты.
9. Квантование уровней в магнитном поле.
10. Спиновый парамагнетизм и диамагнетизм Ландау.

7. Самостоятельная работа

Самостоятельная работа студентов по курсу «**Структурообразование и явления переноса в кристаллах и тонких пленках**» предусматривает: разработки теоретических основ прослушанного лекционного материала; изучение отдельных тем или вопросов, которые предусмотрены для самостоятельной работы; подготовку к практическим занятиям; самостоятельное решение задач; подготовку к модульному контролю.

Темы для самостоятельной работы:

1. Модель Кронига – Пенни. Энергетические зоны.
2. Метод пустой решетки. Расчет для ОЦК и ГЦК решеток.
3. Построение поверхности Ферми. Метод Харрисона.
4. Полупроводники. Собственные и примесные полупроводники.
5. Расчет коэффициента электропроводности для полупроводников.
6. Парамагнетизм Паули. Вычисление парамагнитной восприимчивости.
7. Общая теория возмущений. Метод вторичного квантования.
8. Эпитаксия. Дислокации несоответствия.
9. Взаимодействие дислокаций несоответствия с границами раздела.
10. Ядра дислокаций в границах зерен. Облака Коттрела.
11. Наноструктура неупорядоченных систем.
12. Нанокластерные системы, типы кластеров.
13. Способы получения кластеров. Молекулярные кластеры.
14. Молекулярно – лучевая эпитаксия.
15. Аномалии механического поведения в наносистемах
16. Тепловые и электрические свойства нанокристаллов.
17. Характеристики магнитных свойств наноматериалов.

8. Контрольные вопросы к промежуточной аттестации

1. Двумерные и трехмерные решетки. Прямая и обратная решетки.
2. Точечные и пространственные группы, элементы симметрии.
3. Типы связей кристаллических структур.
4. Дать определения фазовой и групповой скоростей и их физический смысл.
5. Закон Видемана – Франца. Роль изотропии и упругого рассеяния.
6. Теорема Блоха. Граничные условия Борна – Кармана.
7. Частотная зависимость нормального и аномального скин – эффекта.
8. полупроводники. Закон действующих масс.
9. Металлы. Модель Друде. Приближения Зоммерфельда.
10. Поверхностный импеданц. металлов.
11. Сверхпроводящие материалы. Эффект Мейснера.
12. Расчет коэффициента электросопротивления для полупроводников.

13. Фазовая диаграмма магнитного и кристаллического состояния.
14. 1-ое и 2-ое уравнения Фика, коэффициент диффузии.
15. Движущие силы диффузии. Уравнение Эйнштейна – Смолуховского.
16. Взаимодиффузия. Эффект Киркендала.

9. Контрольные вопросы к зачету

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 Гельгольдца) 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 Матье): - «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 концентрационный зависимости свободной энергии Гельмгольдца.
31. Неупорядоченные системы, дисклинации в неупорядоченных материалах; границы зерен, зернограничные сегрегации и методы их исследований.
32. Нанокластеры и нанокластерные системы; фрактальные системы. Фуллерены и нанотрубки.
33. Размерные эффекты в нанокристаллических материалах.

10. Критерии оценивания

Согласно модульному принципу организации учебного процесса содержание дисциплины «**Структурообразование и явления переноса в кристаллах и тонких пленках**» включает в себя три содержательных модуля. Каждый зачётный модуль состоит из теоретического материала и практических задач, выполнение которых требует овладения теорией в указанном в модуле объёме.

Оценка знаний студентов проводится по 100-балльной шкале по следующим критериям:

Зачётные модули	Форма контроля	Баллы
Содержательный модуль 1	Самостоятельная работа	15
Содержательный модуль 2	Самостоятельная работа	15
Содержательный модуль 3	Самостоятельная работа	20
Зачет		50
Общий итог		100

На первом и втором модульном контроле студент имеет возможность получить 15 баллов, решив 3 практических упражнений. На третьем модульном контроле студент имеет возможность получить 20 баллов, решив 4 практических упражнений.

На зачете студент имеет возможность получить 50 баллов. Основой для получения оценки на зачете является уровень овладения студентами материала курса «***Теория*** **Структурообразование и явления переноса в кристаллах и тонких пленках**», предусмотренного учебным планом направления подготовки 03.03.02 Физика. От студента требуется устное изложение ответов на два теоретических вопроса. Ответ на каждый из вопросов оценивается в 25 баллов.

(Разрабатываются и утверждаются кафедрой на основе Положения ДонНУ)

Оценка по 100-балльной шкале, которая действует в ДонНУ	По шкале ECTS	Оценка по государственной шкале (экзамен, дифференцированный зачет. зачёт)	Определение
90–100	A	«Отлично» (5) *(зачтено)*	отлично – отличное выполнение с незначительным количеством неточностей
80–89	B	«Хорошо» (4) *(зачтено)*	хорошо – в целом правильно выполненная работа с незначительным количеством ошибок (до 10%)
75–79	C		хорошо – в целом правильно выполненная работа с незначительным количеством

			ошибок (до 15%)
70–74	D	«Удовлетворительно» (3) *(зачтено)*	удовлетворительно – неплохо, но со значительным количеством недостатков
60–69	E		достаточно – выполнение удовлетворяет минимальные критерии
35–59	FX	«Неудовлетворительно» с возможностью повторной аттестации (2) *(не зачтено)*	неудовлетворительно – надо поработать над тем, как получить положительную оценку
0-34	F	2 (неудовлетворительно) *(не зачтено)*	с возможностью повторной сдачи при условии обязательного набора дополнительных баллов

11. Материально-техническое обеспечение учебного процесса

Для обеспечения **практических занятий** по данному курсу используется ауд. 304 «Компьютерный класс», оборудованная интерактивной доской и ПЭВМ в количестве 10 шт.

12. Рекомендованная литература

Основная

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М., Наука, 1978. 792 стр.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. М., Мир, 1979. т.1, 400стр., т.2. 424стр.
3. Уэрт У., Томсон Р. Физика твердого тела. М., Мир, 1969. 590 стр.
4. Абрикосов А.А. 1. Введение в теорию нормальных металлов. 2. Теория нормальных металлов. М., Наука, 1972. 288 стр.
5. Блатт Ф. Физика электронной проводимости в твердых телах. М., Мир, 1971. 472 стр.
6. Ансельм А.И Введение в теорию полупроводников. М., Наука. 1978.
7. Френкель Я.И. Введение в теорию металлов. Л., Наука, 1972. 424 стр.
8. Вонсовский СВ., Кацнельсон М.И. Квантовая физика твердого тела. М., Наука, 1983. 336 стр.
9. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М., Наука, 1977.
10. Займан Дж. Физика металлов. I. Электроны. М., Мир, 1972. 464 стр.
11. Займан Дж. Электроны и фононы. Теория явлений переноса в твердых телах. М., Изд-во ИЛ, 1962. 488стр.
12. Новиков И.И. Дефекты кристаллического строения металлов. М., Металлургия, 1983. 232 стр.
13. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М., Физматлит, 2005. 416 стр.

Дополнительная

1. Косевич А.М. Дислокации в теории упругости. Киев, Наукова думка, 1978. 220 стр.
2. Най Дж. Физические свойства кристаллов. М., Мир, 1970. 388стр.
3. Займан Дж. Модели беспорядка. М., Мир, 1982. 592 стр.
4. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. М., Наука, 1982. 240стр.
5. Де Жен П. Сверхпроводимость металлов и сплавов. М., Мир, 1968. 280 стр.
6. Линтон Э. Сверхпроводимость. М., Мир, 1971. 264 стр.
7. Гуляев А.П. Металловедение. М., Оборонгиз, 1948. 556 стр.
8. Грабский М.В. Структура границ зерен в металлах. М., Металлургия, 1972. 152 стр.
9. Кайбышев О.А., Валиев Р.З. Границы зерен и свойства металлов. М., Металлургия, 1987. 216 стр.
10. Бокштейн Б.С., Копецкий Ч.В., Швиндлерман Л.С. Термодинамика и кинетика границ зерен в металлах. М., Металлургия, 1986. 224 стр.

11. Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. М., Мир, 1974. 472 стр.
12. Современная кристаллография. Т.3. Чернов А.А., Гиваргизов Е.И., Багдасаров Х.С., Кузнецов В.А., Демьянец Л.Н., Лобачев А.Н. Образование кристаллов. М., Наука, 1980. 408 стр.
13. Современная кристаллография. Т.4. Шувалов Л.А., Урусовская А.А., Желудев И.С., Залесский А.В., Семилетов С.А., Гречушников Б.Н., Чистяков И.Г., Пикин С.А. Физические свойства кристаллов. М., Наука, 1981. 496 стр.
14. Под редакцией Кана Р. Физическое материаловедение. т.1. Атомное строение металлов и сплавов. М., Мир, 1967. 336 стр. т.2. Фазовые превращения. Металлография. М., Мир, 1968. 492 стр. т.3. Дефекты кристаллического строения. Механические свойства металлов
и сплавов. М., Мир, 1968. 484 стр.

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями (без изменений) на 2017 год. Протокол заседания кафедры
№ ___ от _____

Зав. кафедрой _____

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями (без изменений) на 2018/2019 год. Протокол заседания кафедры № ___ от ____

Зав. кафедрой _____ _____

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями (без изменений) на 2019/2020 год. Протокол заседания кафедры № ___ от ____

Зав. кафедрой _____ _____

11. Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. М., Мир, 1974. 472 стр.
12. Современная кристаллография. Т.3. Чернов А.А., Гиваргизов Е.И., Багдасаров Х.С., Кузнецов В.А., Демьянец Л.Н., Лобачев А.Н. Образование кристаллов. М., Наука, 1980. 408 стр.
13. Современная кристаллография. Т.4. Шувалов Л.А., Урусовская А.А., Желудев И.С., Залесский А.В., Семилетов С.А., Гречушников Б.Н., Чистяков И.Г., Пикин С.А. Физические свойства кристаллов. М., Наука, 1981. 496 стр.
14. Под редакцией Кана Р. Физическое материаловедение. т.1. Атомное строение металлов и сплавов. М., Мир, 1967. 336 стр. т.2. Фазовые превращения. Металлография. М., Мир, 1968. 492 стр. т.3. Дефекты кристаллического строения. Механические свойства металлов и сплавов. М., Мир, 1968. 484 стр.

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями (без изменений) на 2017 год. Протокол заседания кафедры
№ 1 от 28.08.2017

Зав. кафедрой _____

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями (без изменений) на 2018/2019 год. Протокол заседания кафедры № 1 от 20.08.2018

Зав. кафедрой _____ _____

Рабочая программа рассмотрена и переутверждена на заседании кафедры с изменениями (без изменений) на 2019/2020 год. Протокол заседания кафедры № ___ от ____

Зав. кафедрой _____ _____