

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель Ученого совета факультета радиотехники и электроники

проф. Небольсин В.А. _____

(подпись)

_____ 2016 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Термодинамика твердого состояния

(наименование дисциплины по учебному плану ООП)

для направления подготовки (специальности): 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника
(код, наименование)

Профиль подготовки (специализация): Микроэлектроника и твердотельная электроника
(название профиля, магистерской программы, специализации по УП)

Форма обучения очная Срок обучения нормативный

Кафедра полупроводниковой электроники и нанoeлектроники
(наименование кафедры-разработчика УМКД)

УМКД разработал: Николаева Е.П., к.ф.-м.н.
(Ф.И.О., ученая степень авторов разработки)

Рассмотрено и одобрено на заседании методической комиссии ФРТЭ
(наименование факультета)

Протокол № _____ от « _____ » _____ 2016 г.

Председатель методической комиссии Москаленко А.Г.
(Ф.И.О)

Воронеж 2016 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
 ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
 ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
 «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
 (ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель Ученого совета факультета радиотехники и электроники

проф. Небольсин В.А. _____

(подпись)

_____ 2016 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Термодинамика твердого состояния

(наименование дисциплины (модуля) по УП)

Закреплена за кафедрой: полупроводниковой электроники и наноэлектроники

Направление подготовки (специальности): 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
 (код, наименование)

Профиль: Микроэлектроника и твердотельная электроника
 (название профиля по УП)

Часов по УП: 108; Часов по РПД: 108;

Часов по УП (без учета часов на экзамены): 108; Часов по РПД: 108;

Часов на самостоятельную работу по УП: 54 (50%);

Часов на самостоятельную работу по РПД: 54 (50%)

Общая трудоемкость в ЗЕТ: 3;

Виды контроля в семестрах (на курсах): Экзамены - 0; Зачеты - 5; Зачеты с оценкой – 0;

Курсовые проекты - 0; Курсовые работы - 0.

Форма обучения: очная;

Срок обучения: нормативный.

Распределение часов дисциплины по семестрам

Вид занятий	№ семестров, число учебных недель в семестрах																	
	1 / 18		2 / 18		3 / 18		4 / 18		5 / 18		6 / 18		7 / 18		8 / 12		Итого	
	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД	УП	РПД
Лекции									36	36							36	36
Лабораторные									-	-							-	-
Практические									18	18							18	18
Ауд. занятия									54	54							54	54
Сам. работа									54	54							54	54
Итого									108	108							108	108

Сведения о ФГОС, в соответствии с которым разработана рабочая программа дисциплины (модуля) – 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника». Утвержден приказом Министерства образования Российской Федерации от 12 марта 2015 г. №218.

Программу составил: _____ к.ф.-м.н., Николаева Е.П.
(подпись, ученая степень, ФИО)

Рецензент (ы): _____ Коваленко П.Ю., к.т.н., зам. гл. инженера АО «ВЗПП-С»

Рабочая программа дисциплины составлена на основании учебного плана подготовки бакалавров по направлению 11.03.04 “Электроника и наноэлектроника”, профиль “Микроэлектроника и твердотельная электроника”.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры полупроводниковой электроники и наноэлектроники

протокол № _____ от _____ 2016 г.

Зав. кафедрой ППЭНЭ _____ С.И. Рембеза

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1	Цель изучения дисциплины – сформировать у студентов представления о методах управления дефектообразования в кристаллах, о способах синтеза кристаллов с заданным уровнем дефектов и желаемыми свойствами.
1.2	Для достижения цели ставятся задачи:
1.2.1	формирование представлений о закономерностях возникновения дефектов в кристаллах;
1.2.2	установление связей между природой и концентрацией дефектов в кристаллах, а также теми свойствами, которые они определяют;
1.2.3	изучение кинетики дефектообразования и явлений переноса вещества в твердом теле;
1.2.4	иметь представления о тенденциях развития, основных направлениях и методах термодинамики твердого состояния в связи с современными требованиями микроэлектроники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Цикл (раздел) ООП: Б1	код дисциплины в УП: Б1.В.ДВ.2.1
2.1 Требования к предварительной подготовке обучающегося	
Для успешного освоения дисциплины студент должен иметь знания, полученные при изучении дисциплин:	
Б1.Б.5	«Математика»
Б1.Б.6	«Физика»
Б1.Б.7	«Химия»
2.2 Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее	
Б1.Б.14	Материалы электронной техники
Б1.Б.17	Нанoeлектроника
Б1.Б.19	Основы технологии электронной компонентной базы
Б1.В.ОД.13	Технология материалов электронной техники
Б1.В.ОД.15	Перспективные технологические процессы и оборудование для производства полупроводниковых приборов

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

ОПК-1	способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики
ОПК-2	способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

3.1	Знать:
3.1.1	основные теоретические положения о природе и закономерностях образования дефектов в кристаллах; (ОПК-1)
3.1.2	принципы управления типом и концентрацией дефектов, связь между природой и

	концентрацией дефектов и свойствами кристаллов; (ОПК-1)
3.1.3	кинетику дефектов, явления переноса вещества в твердых телах; (ОПК-2)
3.2	Уметь:
3.2.1	формирование представления о закономерностях возникновения дефектов в кристаллах; (ОПК-2)
3.2.2	оценить концентрацию дефектов в зависимости от температуры, давления и типа легирующей примеси; (ОПК-2)
3.3	Владеть:
3.3.1	методикой оценки концентрации дефектов в данных условиях и управления свойствами кристаллов (ОПК-2)

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ П./П	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Вид учебной нагрузки и их трудоемкость в часах				
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС	Всего часов
1	Основные термодинамические функции и соотношения. Тепловой беспорядок в кристалле. Точечные дефекты	5	1-3	6	2	-	8	16
2	Квазихимический метод исследования реакций дефектов в кристаллах	5	4-8	10	2	-	13	25
3	Беспорядок в кристалле, обусловленный посторонними примесями.	5	9-12	8	4	-	11	23
4	Взаимодействие дефектов в кристаллах	5	13-14	4	4	-	5	13
5	Явления переноса в кристаллах с дефектами	5	15-16	4	4	-	5	13
6	Поверхностные дефекты. Дефекты в эпитаксиальных структурах	5	17-18	4	2	-	12	18
Итого				36	18		54	108

4.1 Лекции

Неделя семестра	Тема и содержание лекции	Объем часов	В том числе, в интерактивной форме (ИФ)
1. Основные термодинамические функции и соотношения. Тепловой беспорядок в кристалле. Точечные дефекты		6	
1	Введение Основные термодинамические функции и соотношения.	2	
2	Тепловой беспорядок в кристалле. Точечные дефекты. Виды точечных дефектов.	2	
3	Зависимость концентрации точечных дефектов от температуры. Самостоятельное изучение: зависимость концентрации дефектов Шоттки от температуры в бинарном кристалле.	2	
2. Квазихимический метод исследования реакций дефектов в кристаллах		10	3
4	Термодинамическая и экспериментальная оценка концентрации точечных дефектов. Беспорядок, вызванный нарушениями стехиометрии. Дефекты нестехиометрии Самостоятельное изучение: Примеры термодинамического определения концентрации дефектов.	2	1
5	Квазихимический метод исследования реакций дефектов в кристалле.	2	
6	Равновесие собственных тепловых дефектов с учетом их ионизации Отображение реакций дефектов на зонной диаграмме кристалла Самостоятельное изучение: построить зонные диаграммы кристаллов с дефектами для конкретных условий	2	
7	Определение температурной зависимости концентрации собственных дефектов квазихимическим методом. Дефекты по Шоттке. Дефекты по Френкелю. Антиструктурные дефекты. Самостоятельное изучение: квазихимический способ определения концентрации дефектов в двухкомпонентных кристаллах квазихимическим способом	2	1
8	Зависимость равновесной концентрации дефектов в кристалле от давления паров над кристаллом. Зонная диаграмма кристалла с дефектами. Физический смысл показателя степени в уравнении зависимости равновесной концентрации дефектов от давления пара. Самостоятельное изучение: построение зонной диаграммы кристаллов с дефектами. Определить показатели степени в уравнении зависимости равновесной концентрации дефектов от давления пара конкретных реакций.	2	1
3. Беспорядок в кристалле, обусловленный посторонними примесями.		8	2
9	Беспорядок в кристалле, обусловленный посторонними примесями. Взаимодействие дефектов в кристаллах. Равновесие дефектов в однокомпонентном кристалле, обогащенном посторонними примесями.	2	1

10	Равновесие дефектов в бинарных кристаллах, обогащенных посторонними примесями. Изовалентное замещение Самостоятельная работа: привести примеры конкретных реакций при изовалентном замещении.	2	
11	Гетеровалентное замещение. Квазихимические реакции для изовалентного и гетеровалентного замещения. Основные квазихимические уравнения и зонные диаграммы в кристалле, обусловленные посторонними примесями в кристалле и дефектами Самостоятельная работа: написание конкретных квазихимических реакций по заданию преподавателя	2	1
12	Ассоциаты. Ассоциаты с электростатическим взаимодействием. Взаимодействие нейтральных дефектов Самостоятельное изучение: Ассоциаты и распад нестехиометрической фазы. Зонные диаграммы для конкретных условий легирования с учетом тепловых дефектов.	2	
4. Взаимодействие дефектов в кристаллах		4	1
13	Внутреннее равновесие собственных и примесных дефектов. Взаимное влияние заряженных собственных и примесных дефектов. Распределение амфотерной примеси в кристаллической решетке полупроводников. Самостоятельная работа: зависимость концентрации дефектов от давления примеси для конкретных условий.	2	1
14	Растворимость примесей в полупроводниках с учетом ионизации примесных атомов. Управление собственными дефектами путем отжига кристаллов в парогазовой среде	2	
5. Явления переноса в кристаллах с дефектами		4	
15	Хаотическая самодиффузия. Влияние температуры на коэффициент хаотичной самодиффузии.	2	
16	Влияние посторонних примесей на коэффициент самодиффузии	2	
6. Поверхностные дефекты. Дефекты в эпитаксиальных структурах		4	
17	Поверхностные дефекты. Дефекты в эпитаксиальных структурах Самостоятельное изучение: Технология механической обработки, наращивание эпитаксиальной пленки.	2	
18	Дефекты поверхности при механической и термической обработке кристалла. Дефекты в эпитаксиальных пленках Самостоятельная работа: схема механической обработки кристаллов и технология эпитаксиального наращивания.	2	
Итого часов		36	6

4.3. Практическая работа

Неделя семестра	Наименование практической работы	Объем часов	В том числе в интерактивной форме (ИФ)	Виды контроля
1. Основные термодинамические функции и соотношения. Тепловой беспорядок в кристалле. Точечные дефекты		2	1	
1	Рассчитать энергию образования вакансий по заданной зависимости концентрации вакансий от температур.	2	1	отчет
2. Квазихимический метод исследования реакций дефектов в кристаллах		2	1	
3	Расчет концентрации дефектов по Шоттке, Френкелю для различных условий $\Delta E_{\text{деф}}$ и T по варианту	2	1	отчет
3. Беспорядок в кристалле, обусловленный посторонними примесями.		4	2	
5,7	Квазихимические уравнения для изовалентного и гетеровалентного замещения.	4	2	отчет
4. Взаимодействие дефектов в кристаллах		4	2	
9,11	Зонные диаграммы полупроводников с учетом дефектов и примесных центров	4	2	отчет
5. Явления переноса в кристаллах с дефектами		4	2	
13,15	Квазихимические реакции в бинарном кристалле при введении примесей в виде химического соединения.	4	2	отчет
6. Поверхностные дефекты. Дефекты в эпитаксиальных структурах		2	2	
17	Сравнительная оценка различных методов эпитаксиального наращивания с точки зрения образования дефектов	2	2	отчет
Итого часов		18	10	

4.3 Самостоятельная работа студента (СРС)

Неделя семестра	Содержание СРС	Виды контроля	Объем часов
1	Работа с конспектом лекций, подготовка к практическим занятиям	Отчет по практическому занятию	3
2	Работа с конспектом лекций, с учебником	Проверка конспекта	2
3	Работа с конспектом лекций, подготовка к практическим занятиям	Отчет по практическому занятию	3
4	Работа с конспектом лекций, подготовка к практическим занятиям	Отчет по практическому занятию	3
5	Подготовка к контрольной работе	Контрольная работа	4
6	Работа с конспектом лекций, с учебником	Проверка конспекта	2
7	Подготовка к практическим занятиям	Отчет по практическому занятию	2
8	Работа с конспектом лекций, с учебником	Проверка домашнего задания	2

9	Работа с конспектом лекций, подготовка к практическим занятиям	Отчет по практическому занятию	3
10	Работа с конспектом лекций, с учебником	Проверка отчета	2
11	Подготовка к контрольной работе	Контрольная работа	4
12	Работа с конспектом лекций, с учебником	Проверка конспекта	2
13	Работа с конспектом лекций, подготовка к практическим занятиям	Отчет по практическому занятию	3
14	Работа с конспектом лекций, с учебником	Проверка отчета	2
15	Работа с конспектом лекций, подготовка к практическим занятиям	Отчет по практическому занятию	3
16	Работа с конспектом лекций, с учебником	Проверка отчета	2
17	Подготовка к зачету	Зачет	6
18	Подготовка к зачету	Зачет	6
Итого			54

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

	В рамках изучения дисциплины предусмотрены следующие образовательные технологии:
5.1	Лекции: информационные лекции
5.2	Практические занятия: а) работа в команде - совместное обсуждение вопросов лекций, домашних заданий; решение творческих задач (метод Делфи) б) проведение контрольных работ;
5.3	самостоятельная работа студентов: – изучение теоретического материала, – подготовка к лекциям и практическим занятиям, – работа с учебно-методической литературой, – оформление конспектов лекций, отчетов, – подготовка к текущему контролю успеваемости, к зачету;
5.4	консультации по всем вопросам учебной программы.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

6.1	Контрольные вопросы и задания
6.1.1	Используемые формы текущего контроля: – контрольные работы; – отчет и защита выполненных практических работ.
6.1.2	Рабочая программа дисциплины обеспечена фондом оценочных средств для проведения входного, текущего контроля и промежуточной аттестации. Фонд включает варианты контрольных работ, вопросы к отчетам по практическим работам, вопросы к зачету по курсу дисциплины.
6.2	Темы письменных работ
6.2.1	Контрольная работа по теме «Тепловые дефекты в кристаллах. Зависимость концентрации точечных дефектов от давления и температуры»

6.2.2	Контрольная работа по теме «Квазихимические уравнения и зонные диаграммы в кристалле, обусловленные посторонними примесями, дефектами»
-------	--

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

7.1 Рекомендуемая литература				
№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченность
7.1.1. Основная литература				
7.1.1.1	Николаева Е.П., Кошелева Н.Н., Прибылова Е.И.	Термодинамика твердого состояния: Учеб. пособие. Воронеж: ВГТУ	2010	1
7.1.1.2	Николаева Е.П., Кошелева Н.Н.	Термодинамика твердого состояния: Учеб. пособие. Воронеж: ВГТУ	2011	1
7.1.1.3	Стромберг А.Г.	Физическая химия: учебник для химических специальностей вузов	2001 Печат.	1
7.1.2. Дополнительная литература				
7.1.2.1	Ормонт Б.Ф.	Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников. М.: Высшая школа	1982	0,5
7.1.2.2	Под ред. В.П. Глушко	Термодинамические свойства индивидуальных веществ: Справочное издание в 4 т.	1982	
7.1.2.3	Новокрещенова Е.П.	Введение в кристаллохимию полупроводников: учебное пособие	2012 Магнитный носитель	1
7.1.3 Методические разработки				
7.1.3.1	Николаева Е.П. Новокрещенова Е.П.	Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Физическая химия материалов и процессов электронной техники» для студентов специальности 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника» очной формы обучения	2010 Печат.	1

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

8.1	Учебные лаборатории: 213/4, 214/4
8.2	Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для проведения лабораторного практикума
8.3	Плакаты и наглядные пособия из фонда кафедры ШЭНЭ

**Карта обеспеченности рекомендуемой литературой
по дисциплине «Термодинамика твердого состояния»**

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Год издания. Вид издания.	Обеспеченность
1. Основная литература				
Л1.1	Николаева Е.П., Кошелева Н.Н., Прибылова Е.И.	Термодинамика твердого состояния: Учеб. пособие. Воронеж: ВГТУ	2010	1,0
Л1.2	Николаева Е.П., Кошелева Н.Н.	Термодинамика твердого состояния: Учеб. пособие. Воронеж: ВГТУ	2011	1,0
Л1.3	Стромберг А.Г.	Физическая химия: учебник для химических специальностей вузов	2001 Печат.	1,0
2. Дополнительная литература				
Л2.1	Ормонт Б.Ф.	Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников. М.: Высшая школа	1982	0,5
Л2.2	Под ред. В.П. Глушко	Термодинамические свойства индивидуальных веществ: Справочное издание в 4 т. – М.: Наука.	1982	0,25
Л2.3	Новокрещенова Е.П.	Введение в кристаллохимию полупроводников: учебное пособие	2012 Магнитный носитель	1,0
3. Методические разработки				
Л3.1	Николаева Е.П. Новокрещенова Е.П.	Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Физическая химия материалов и процессов электронной техники» для студентов специальности 210104 «Микроэлектроника и твердотельная электроника» очной формы обучения	2010 Печат.	1,0

Зав. кафедрой _____ С.И. Рембеза

Директор НТБ _____ Т.И. Буковшина

«УТВЕРЖДАЮ»
Председатель Ученого совета факультета радиотехники и электроники

_____ Небольсин В.А.
(подпись)

_____ 201__ г.

Лист регистрации изменений (дополнений) УМКД

Термодинамика твердого состояния

В УМКД вносятся следующие изменения (дополнения):

Изменения (дополнения) в УМКД обсуждены на заседании кафедры полупроводниковой электроники и нанoeлектроники

Протокол № _____ от «___» _____ 20__ г.

Зав. кафедрой ППЭНЭ

С.И. Рембеза

Изменения (дополнения) рассмотрены и одобрены методической комиссией ФРТЭ

Председатель методической комиссии ФРТЭ

А.Г. Москаленко

«Согласовано»

С.И. Рембеза

Лист регистрации изменений

Порядковый номер изменения	Раздел, пункт	Вид изменения (заменить, аннулировать, добавить)	Номер и дата приказа об изменении	Фамилия и инициалы, подпись лица, внесшего изменение	Дата внесения изменения