

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого»
Институт электронных и информационных систем
Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЭИС

С.И.Эминов

« 25 » декабря 2020 г.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 11 7D 78 67 C2 66 A3 34 B2 CE 4F 9A FD E9 38 84 E5 28 4A 09
Владелец: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Новгородский государственный университет
имени Ярослава Мудрого»
Действителен: с 08.07.2021 до 08.10.2022

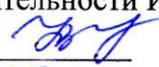
РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
учебной дисциплины

**ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ЗАМЕЩЕНИЯ**

по направлению подготовки
11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
Направленность (профиль) Микро- и нанoeлектронные устройства

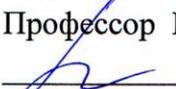
СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела обеспечения
деятельности ИЭИС

 П.В.Лысухо
« 25 » декабря 2020 г.

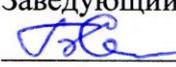
Разработал

Профессор КФТТМ

 М.А.Захаров
« 24 » 11 2020 г.

Принято на заседании кафедры ФТТМ
Протокол № 4 от 26.11.2020 г.

Заведующий кафедрой

 Б.И. Селезнев
« 26 » 11 2020 г.

1 Цели и задачи освоения учебной дисциплины

Цель освоения учебной дисциплины: формирование компетентности студентов в области теории электронной структуры полупроводниковых твердых растворов замещения, способствующей становлению их готовности к решению задач профессиональной деятельности.

Задачи:

- изучение электронной структуры кристаллических полупроводниковых растворов замещения;
- изучение электронной структуры неупорядоченных полупроводниковых растворов.

2 Место учебной дисциплины в структуре ОПОП

Учебная дисциплина относится к элективным дисциплинам учебного плана основной профессиональной образовательной программы направления подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника и направленности (профилю) Микро- и наноэлектронные устройства (далее – ОПОП). В качестве входных требований выступают сформированные ранее компетенции обучающихся, приобретенные ими в рамках следующих дисциплин, изученных студентами при подготовке по направлению 11.03.04 Электроника и наноэлектроника: «Физическая химия материалов и процессов электронной техники», «Кристаллофизика». Освоение учебной дисциплины является компетентностным ресурсом и используется при подготовке выпускной квалификационной работы.

3 Требования к результатам освоения учебной дисциплины (модуля)

Перечень компетенций, которые формируются в процессе освоения учебной дисциплины:

Профессиональные компетенции:

- ПК-1 Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач/

Результаты освоения учебной дисциплины представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты освоения учебной дисциплины

Код и наименование компетенции	Результаты освоения учебной дисциплины (индикаторы достижения компетенций)		
	ПК-1 Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	Знает принципы построения и функционирования изделий микро- и наноэлектроники	Умеет рассчитывать предельно допустимые и предельные режимы работы изделий микро- и наноэлектроники

4 Структура и содержание учебной дисциплины

4.1 Трудоемкость учебной дисциплины

Таблица 2 – Трудоемкость учебной дисциплины для очной формы обучения

Части учебной дисциплины (модуля)	Всего	Распределение по семестрам
		2 семестр
1. Трудоемкость учебной дисциплины (модуля) в зачетных единицах (ЗЕТ)	6	6
2. Контактная аудиторная работа в академических часах (АЧ)	45	45
3. Курсовая работа/курсовой проект (АЧ) (при наличии)	-	-
4. Внеаудиторная СРС в академических часах (АЧ)	135	135
5. Промежуточная аттестация (зачет; дифференцированный зачет; экзамен) (АЧ)	экзамен 36	экзамен 36

4.2 Содержание учебной дисциплины

Тема 1 Электронные и ядерные степени свободы, адиабатическое разложение.

Тема 2 Кристаллические структуры.

Тема 3 Колебания решетки, фононы.

Тема 4 Дефекты в кристаллах.

Тема 5 Дислокации в кристаллах, их электронная структура.

Тема 6 Аддитивные взаимодействия и уравнения Фаддеева.

Тема 7 Аморфные структуры и жидкости, их электронная структура.

Тема 8 Электронная структура неупорядоченных систем.

Тема 9 Локализация электронных состояний, токовые и электронные состояния, пороги локализации.

4.3 Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

Таблица 3 – Трудоемкость разделов учебной дисциплины и контактной работы

№	Наименование разделов (тем) учебной дисциплины (модуля), УЭМ, наличие КП/КР	Контактная работа (в АЧ)			В т.ч. СРС	Экзамен	Внеауд. СРС (в АЧ)	Формы текущего контроля
		Аудиторная						
		ЛЕК	ПЗ	ЛР				
1.	Электронные и ядерные степени свободы, адиабатическое разложение	1	4		1		15	Доклады
2.	Кристаллические структуры	1	4		1		15	
3.	Колебания решетки, фононы	1	4		1		15	
4.	Дефекты в кристаллах	1	4		1		15	
5.	Дислокации в кристаллах, их электронная структура	1	4		1		15	
6.	Аддитивные взаимодействия и уравнения Фаддеева	1	4		1		15	
7.	Аморфные структуры и жидкости, их электронная структура	1	4		1		15	
8.	Электронная структура неупорядоченных систем	1	4		1		15	
9.	Локализация электронных состояний, токовые и электронные состояния, пороги локализации	1	4		1		15	
	Промежуточная аттестация					36		экзамен
	ИТОГО	9	36		9	36	135	

4.4 Лабораторные работы и курсовые работы/курсовые проекты

4.4.1 Перечень тем лабораторных работ:

Лабораторные работы не предусмотрены учебным планом.

4.4.2 Примерные темы курсовых работ/курсовых проектов:

Курсовые работы/курсовые проекты не предусмотрены учебным планом.

5 Методические рекомендации по организации освоения учебной дисциплины

Таблица 4 – Методические рекомендации по организации лекций

№	Темы лекционных занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
1.	Электронные и ядерные степени свободы, адиабатическое разложение. Электронная подсистема. Одноэлектронное приближение. транзисторов (информационная лекция)	1
2.	Кристаллические структуры. Теорема Блоха. Структура энергетического спектра идеальных кристаллов. Приближения сильной и слабой связей. Диэлектрики, металлы, полупроводники, полуметаллы (информационная лекция)	1
3.	Колебания решетки, фононы. Перенормировка электронного спектра. Многочастичные эффекты (информационная лекция)	1
4.	Дефекты в кристаллах. Модель Лифшица-Слэтера-Костера. Нейтральные и заряженные примеси в кристаллах. Мелкие и глубокие уровни (информационная лекция)	1
5.	Дислокации в кристаллах, их электронная структура. Поверхность кристалла и таммовские состояния. «Взаимодействие» дефектов. Твёрдые растворы. Модель Лифшица. Искажения кристаллической решётки (информационная лекция)	1
6.	Аддитивные взаимодействия и уравнения Фаддеева. Простейшие случаи точных их решений (информационная лекция)	1
7.	Аморфные структуры и жидкости, их электронная структура (качественные особенности) (информационная лекция)	1
8.	Электронная структура неупорядоченных систем. Самоусредняемость (информационная лекция)	1
9.	Локализация электронных состояний, токовые и электронные состояния, пороги локализации. Прыжковая проводимость, закон Мотта(информационная лекция)	1
	ИТОГО	9

Таблица 5 – Методические рекомендации по организации практических занятий

№	Темы практических занятий (форма проведения)	Трудоемкость в АЧ
1.	Электронные и ядерные степени свободы, адиабатическое разложение (научный семинар)	4
2.	Кристаллические структуры (научный семинар)	4
3.	Колебания решетки, фононы (научный семинар)	4
4.	Дефекты в кристаллах (научный семинар)	4
5.	Дислокации в кристаллах, их электронная структура (научный семинар)	4
6.	Аддитивные взаимодействия и уравнения Фаддеева (научный семинар)	4
7.	Аморфные структуры и жидкости, их электронная структура (научный семинар)	4
8.	Электронная структура неупорядоченных систем (научный семинар)	4
9.	Локализация электронных состояний, токовые и электронные состояния, пороги локализации (научный семинар)	4
	ИТОГО	36

Методические рекомендации по теоретической части учебной дисциплины

Теоретическая часть модуля направлена на формирование системы знаний в области теории электронных структур твердых растворов. Основное содержание теоретической части излагается преподавателем на лекционных занятиях, а также усваивается студентами при

знакомстве с дополнительной литературой, которая предназначена для более глубокого овладения знаниями основных дидактических единиц соответствующих тем.

Рекомендации к проведению практических занятий.

Темы практических занятий полностью совпадают с темами лекций. Цель практических занятий – закрепление теоретического материала и формирование у студентов умений по исследованию существующих моделей твердых растворов (научные семинары).

В начале первого занятия студенты выбирают тему доклада. Не позднее, чем за две недели до окончания освоения учебной дисциплины назначается день, когда заслушиваются и обсуждаются все доклады.

1) Научный семинар

а) Тема семинара: Электронные и ядерные степени свободы, адиабатическое разложение

Возможные вопросы для обсуждения проблемы:

- Адиабатическое приближение
- Приближение свободных электронов. Приближение независимых электронов.
- Приближение сильной связи. Приближение слабосвязанных электронов.

б) Тема семинара: Кристаллические структуры

Возможные вопросы для обсуждения проблемы:

- Применение теория групп для описания точечной симметрии кристаллов
- Классическая динамика кристаллической решетки
- Квантовые модели динамики кристаллов

в) Тема семинара: Колебания решетки, фононы

Возможные вопросы для обсуждения проблемы:

- Оптические фононы
- Акустические фононы
- Интерполяционные схемы Дебая и Эйнштейна

г) Тема семинара: Дефекты в кристаллах

Возможные вопросы для обсуждения проблемы:

- Классификации дефектов
- Дефект по Френкелю. Дефект по Шоттки.
- Термодинамика дефектов

д) Тема семинара: Дислокации в кристаллах, их электронная структура

Возможные вопросы для обсуждения проблемы:

- Краевые дислокации
- Винтовые дислокации
- Электронная структура дислокаций

д) Тема семинара: Аддитивные взаимодействия и уравнения Фаддеева

Возможные вопросы для обсуждения проблемы:

- Сепарабельные потенциалы
- Простейшие случаи точных решений уравнения Фаддеева
- Квантовая задача трех тел

е) Тема семинара: Аморфные структуры и жидкости, их электронная структура

Возможные вопросы для обсуждения проблемы:

- Аморфные полупроводники
- Особенности электронной структуры аморфных полупроводников
- Электронная структура жидкостей

ж) Тема семинара: Электронная структура неупорядоченных систем

Возможные вопросы для обсуждения проблемы:

- Предельные случаи слабого и сильного разупорядочения
- Принципы описания прыжковой проводимости в рамках туннельной модели
- Примести в неупорядоченных материалах

и) Тема семинара: Локализация электронных состояний, токовые и электронные состояния, пороги локализации

- Локализация электронных состояний
- Токовые и электронные состояния
- Пороги локализации

6 Фонд оценочных средств учебной дисциплины

Фонд оценочных средств представлен в Приложении А.

7 Условия освоения учебной дисциплины

7.1 Учебно-методическое обеспечение

Учебно-методическое обеспечение учебной дисциплины представлено в Приложении Б.

7.2 Материально-техническое обеспечение

Таблица 6 - Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

№	Требование к материально-техническому обеспечению согласно ФГОС ВО	Наличие материально-технического оборудования	
1.	Учебные аудитории для проведения учебных занятий	аудитория для проведения лекционных и/или практических занятий: учебная мебель (столы, стулья, доска)	
		помещения для самостоятельной работы (наличие компьютера, выход в Интернет)	
2.	Мультимедийное оборудование	ПК IBM ATX Inwia S500 с подключением к сети «Интернет», монитор 17/КК/м, проектор Epson EMP-X5, экран подвесной (800x600)	
3.	Программное обеспечение		
	Наименование программного продукта	Обоснование для использования (лицензия, договор, счёт, акт или иное)	Дата выдачи
	Microsoft Windows 7 Professional	Dreamspark (Imagine) № 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	30.04.2015
	Microsoft Windows 10 for Educational Use	Dreamspark (Imagine) № 370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	30.04.2015
	Microsoft Office 2013 Standard	Open License № 62018256	31.07.2016
	Microsoft Imagine (Microsoft Azure Dev Tools for	Договор №243/ю,	19.12.2018

Teaching) Standard	370aef61-476a-4b9f-bd7c-84bb13374212	
ABBYY FineReader PDF 15 Business. Версия для скачивания (годовая лицензия с академической скидкой)*	Договор №191/Ю	16.11.2020
Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Стандартный Russian Edition. 500-999. Node 1 year Educational Renewal License *	Договор №148/ЕП(У)20-ВБ, 1С1С-200914-092322-497-674	11.09.2020
Антиплагиат. Вуз.*	Договор №3341/12/ЕП(У)21-ВБ	29.01.2021
Подписка Microsoft Office 365	свободно распространяемое для вузов	-
Adobe Acrobat	свободно распространяемое	-
Teams	свободно распространяемое	-
Skype	свободно распространяемое	-
Zoom	свободно распространяемое	-

* отечественное производство

Приложение А (обязательное)

Фонд оценочных средств учебной дисциплины «Теория электронной структуры полупроводниковых твердых растворов замещения»

1 Структура фонда оценочных средств

Фонд оценочных средств состоит из двух частей:

а) открытая часть - общая информация об оценочных средствах (название оценочных средств, проверяемые компетенции, баллы, количество вариантов заданий, методические рекомендации для применения оценочных средств и пр.), которая представлена в данном документе, а также те вопросы и задания, которые могут быть доступны для обучающегося;

б) закрытая часть - фонд вопросов и заданий, которая не может быть заранее доступна для обучающихся (экзаменационные билеты и пр.) и которая хранится на кафедре.

2 Перечень оценочных средств текущего контроля и форм промежуточной аттестации

Таблица А.1 – Перечень оценочных средств

№	Оценочные средства для текущего контроля	Разделы (темы) учебной дисциплины	Баллы	Проверяемые компетенции
1.	Доклад	Темы 1-5	30x5	ПК-1
2.	Доклад	Темы 6-9	25x4	
<i>Промежуточная аттестация</i>				
	Экзамен		50	
	ИТОГО		300	

3 Рекомендации к использованию оценочных средств

1) Доклад

Критерии оценки	Количество вариантов заданий
Логичная структура доклада, наличие выводов	по количеству студентов
Самостоятельность при подготовке доклада	
Умение отстаивать и доказывать свою точку зрения	
Выдерживание регламента	
Логичные и четкие ответы на вопросы	

Пример тем докладов:

- Модель Лифшица;
- Теорема Блоха;
- Аддитивные взаимодействия и уравнения Фаддеева;
- Модель Лифшица-Слэтера-Костера.

2) Экзамен

<i>Критерии оценки</i>	<i>Количество вариантов заданий</i>	<i>Количество вопросов</i>
Уверенное владение терминологией	10	2
Глубина знаний по теме вопроса		
Полнота ответа		

Вопросы к экзамену:

1. Электронные и ядерные степени свободы, адиабатическое разложение.
2. Электронная подсистема.
3. Одноэлектронное приближение.
4. Кристаллические структуры.
5. Теорема Блоха.
6. Структура энергетического спектра идеальных кристаллов.
7. Приближения сильной и слабой связей.
8. Диэлектрики, металлы, полупроводники, полуметаллы.
9. Колебания решетки, фононы.
10. Перенормировка электронного спектра.
11. Многочастичные эффекты.
12. Дефекты в кристаллах.
13. Модель Лифшица-Слэтера-Костера.
14. Нейтральные и заряженные примеси в кристаллах.
15. Мелкие и глубокие уровни.
16. Дислокации в кристаллах, их электронная структура.
17. Поверхность кристалла и таммовские состояния.
18. «Взаимодействие» дефектов.
19. Твёрдые растворы. Модель Лифшица.
20. Искажения кристаллической решётки.
21. Аддитивные взаимодействия и уравнения Фаддеева.
22. Простейшие случаи точных решений уравнения Фаддеева.
23. Аморфные структуры и жидкости, их электронная структура (качественные особенности).
24. Электронная структура неупорядоченных систем. Самоусредняемость.
25. Локализация электронных состояний, токовые и электронные состояния, пороги локализации.
26. Прыжковая проводимость, закон Мотта.

Все материалы для проведения промежуточного контроля хранятся на кафедре.

Пример экзаменационного билета

Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
Институт электронных и информационных систем
Кафедра физики твердого тела и микроэлектроники

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №

Учебная дисциплина **«Теория электронной структуры полупроводниковых твердых растворов замещения»**

Для направления подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника
Направленность (профиль) Микро- и наноэлектронные устройства

- 1 Электронные и ядерные степени свободы, адиабатическое разложение. Электронная подсистема. Одноэлектронное приближение.
- 2 Аддитивные взаимодействия и уравнения Фаддеева. Простейшие случаи точных их решений.

Принято на заседании кафедры

« ___ » _____ 20__ г.

Протокол № _____

Заведующий кафедрой _____ (ФИО)

Приложение Б
(обязательное)

**Карта учебно-методического обеспечения
учебной дисциплины «Теория электронной структуры полупроводниковых твердых
растворов замещения»**

Таблица Б.1 – Основная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Ансельм А. И. Введение в теорию полупроводников = Introduction to the Semi-Conducting Theory : учебное пособие для вузов / А. И. Ансельм. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2008. - 618, [1] с. : ил. - (Классическая учебная литература по физике) (Учебники для вузов, Специальная литература). - Прил.: с. 574-615. - ISBN 978-5-8114-0762-0	6	
2 Забродский А. Г. Электронные свойства неупорядоченных систем : учебное пособие для вузов / Под общ.ред.:В.И.Ильина и А.Я.Шика;Федер.целевая прогр."Гос.поддержка интеграции высш.образования и фундам.науки на 1997-2000 гг.". - Санкт-Петербург : Наука, 2000. - 70с. : ил. - (Новые разделы физики полупроводников). - Библиогр.: с. 69. - ISBN 5-02-024927-0	10	
3 Захаров М. А. Динамика кристаллической решетки: гармоническое приближение и ангармонизмы : учебно-методическое пособие / М. А. Захаров ; Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого. - Великий Новгород, 2007. - 48 с. – URL: https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-366; https://novsu.bibliotech.ru/Reader/Book/-389	10	БиблиоТех
4 Шалимова К. В. Физика полупроводников : учебник для вузов / К. В. Шалимова. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2010. - 390, [2] с. : ил. - (Учебники для вузов, Специальная литература). - Прил.: с. 378-382. - Указ.: с. 383-387. - ISBN 978-5-8114-0922-8	15	

Таблица Б.2 – Дополнительная литература

Библиографическое описание издания (автор, наименование, вид, место и год издания, кол. стр.)	Кол. экз. в библ. НовГУ	Наличие в ЭБС
Печатные источники		
1 Бетгер Х. Принципы динамической теории решетки / Харальд Бётгер ; пер. с англ. А. И. Буздина и О. В. Долгова. под ред. Л. Н. Булаевского. - Москва : Мир, 1986. - 32, [6] с.	2	
2 Блатт Ф. Физика электронной проводимости в твердых телах = Physics of Electronic Conduction in Solids / Пер.с англ.Г.Л.Краско,Р.А.Сурица. - Москва : Мир, 1971. - 470с.	1	
3 Зегря Г. Г. Основы физики полупроводников : учебное пособие для вузов / Г. Г. Зегря, В. И. Перель. - Москва : Физматлит, 2009. - 335, [1] с. : ил. - Библиогр.: с. 327-328. - Указ.: с. 329-335. - ISBN 978-5-9221-1005-1	1	

4 Энциклопедия технологии полупроводниковых материалов = Handbook of semiconductor technology. Т. 1 : Электронная структура и свойства полупроводников / Под ред.:К.А.Джексона и В.Шретера;Пер.с англ.под ред.Э.П.Домашевской;Ред.А.М.Ховив. - Воронеж : Водолей, 2004. - 967с. : ил. - Библиогр. в конце тем. - Указ.: с. 931-967. - ISBN 3-527-29834-7. - ISBN 5-88563-041-0	1	
5 Ашкрофт Н. Физика твердого тела. Т. 1 / Пер.с англ.А.С.Михайлова;Под ред.М.И.Каганова. - Москва : Мир, 1979. - 399с.	2	
Ашкрофт Н. Физика твердого тела. Т. 2 / Пер.с англ.К.И.Кугеля,А.С.Михайлова;Под ред.М.И.Каганова. - Москва : Мир, 1979. - 422с.	2	

Таблица Б.3 – Информационное обеспечение

Наименование ресурса	Договор	Срок договора
Профессиональные базы данных		
База данных электронной библиотечной системы вуза «Электронный читальный зал-БиблиоТех» https://www.novsu.ru/dept/1114/bibliotech/	Договор № БТ-46/11 от 17.12.2014	бессрочный
Электронный каталог научной библиотеки http://mars.novsu.ac.ru/MarcWeb/	База собственной генерации	бессрочный
База данных «Аналитика» (картотека статей) http://mars.novsu.ac.ru/MarcWeb/	База собственной генерации	бессрочный
База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU https://elibrary.ru/	в открытом доступе	-
Национальная подписка в рамках проекта Министерства образования и науки РФ (Госзадание № 4/2017 г.) к наукометрическим БД Scopus и Web of Science https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic	регистрация (территория вуза)	2022
База данных электронно-библиотечной системы «Национальная электронная библиотека» https://нэб.рф	в открытом доступе	-
Информационные справочные системы		
Университетская информационная система «РОССИЯ» https://uisrussia.msu.ru	в открытом доступе	-
Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» https://openedu.ru	в открытом доступе	-
Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии http://protect.gost.ru/	в открытом доступе	-

Зав. кафедрой  Б. Н. Сережнев
подпись И.О. Фамилия

« 26 » И 2020 г.

