

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»



УТВЕРЖДАЮ
Директор по образовательной
деятельности

С.Т. Князев
2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1152983	Физика и технологии микро- и нанoeлектроники

Екатеринбург, 2020

Перечень сведений о рабочей программе модуля	Учетные данные
Образовательная программа 1. Материалы микро- и наносистемной техники	Код ОП 1. 28.04.01/33.01
Направление подготовки 1. Нанотехнологии и микросистемная техника	Код направления и уровня подготовки 1. 28.04.01

Программа модуля составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Шур Владимир Яковлевич	Доктор физико- математических наук, доцент	Профессор	Кафедра физики конденсированного состояния и наноразмерных систем
2	Германенко Александр Викторович	Доктор физико- математических наук, доцент	Профессор	Кафедра физики конденсированного состояния и наноразмерных систем
3	Легких Николай Владимирович	Кандидат физико- математических наук, доцент	Доцент	Кафедра физики конденсированного состояния и наноразмерных систем
4	Трефилова Анна Николаевна	Кандидат физико- математических наук, доцент	Доцент	Кафедра физики конденсированного состояния и наноразмерных систем
5	Зырянова Наталья Павловна	Кандидат физико- математических наук, доцент	Доцент	Кафедра физики конденсированного состояния и наноразмерных систем
6	Ахматханов Андрей Ришатович	Кандидат физико- математических наук, доцент	Доцент	Кафедра физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

Согласовано:

Управление образовательных программ



Р.Х. Токарева

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ

Физика и технологии микро- и нанoeлектроники

1.1. Аннотация содержания модуля

В модуль входят курсы «Доменная структура сегнетоэлектриков», «Методы нанолитографии», «Резонансные методы в физике», «Физика наноматериалов», «Физика полупроводников и диэлектриков», «Физика твердого тела и твердотельная электроника».

Курс «Доменная структура сегнетоэлектриков» посвящен основам физики сегнетоэлектричества и изучению особенностей формирования и динамики доменной структуры в сегнетоэлектриках.

«Методы нанолитографии» посвящены изучению основных методов создания тонкопленочных наноструктур в рамках подхода «сверху-вниз». Рассмотрены основные подходы и методы микро- и нанолитографии.

В курсе «Резонансные методы в физике» рассматриваются основные методы радиоспектроскопии – электронный парамагнитный резонанс, ядерный магнитный резонанс, двойной электронно-ядерный резонанс, ядерный квадрупольный резонанс, их особенности и применения в научно-исследовательской практике.

Курс «Физика наноматериалов» посвящен изучению эффектов, определяющих особые закономерности протекания различных физико-химических процессов в областях нанометровых размеров; ознакомлению с современными достижениями по созданию и применению наноматериалов, знакомству с современными экспериментальными средствами исследования наноматериалов.

В курсе «Физика полупроводников и диэлектриков» рассматриваются основы зонной теории кристаллов, рассмотрен спектр реальных полупроводников и диэлектриков. Изучается влияние дефектов и примеси на зонную структуру. Изучаются механизмы рассеяния носителей заряда, явления переноса.

«Физика твердого тела и твердотельная электроника» изучает основные физические явления в твердых телах; математический аппарат, описывающего процессы, протекающие в твердых телах; практическое применение приборов твердотельной электроники. На основе анализа моделей строения твердых тел рассматриваются влияние структуры кристаллической решетки и характера взаимодействия электронов с решеткой на кинетические явления в твердых телах.

1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Доменная структура сегнетоэлектриков	4
2	Физика наноматериалов	3
3	Физика твердого тела и твердотельная электроника	4
4	Физика полупроводников и диэлектриков	3
5	Резонансные методы в физике	3
6	Методы нанолитографии	4
ИТОГО по модулю:		21

1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	Не предусмотрены
Постреквизиты и корреквизиты модуля	Не предусмотрены

1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
Доменная структура сегнетоэлектриков	ОПК 1 Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания.	<p>РО 1-3 ОПК 1 Соотносить проблемную область с соответствующей областью фундаментальных и общетехнических наук</p> <p>РО 2-3 ОПК 1 Привести примеры терминологии, принципов, методологических подходов и законов фундаментальных и общетехнических наук, применимых для формулирования и решения задач проблемной области знания.</p> <p>РО 1-У ОПК 1 Использовать для формулирования и решения задач проблемной области терминологию, основные принципы, методологические подходы и законы фундаментальных и общетехнических наук.</p> <p>РО 1-У ОПК 1 Критически оценить возможные способы решения задач проблемной области, используя знания фундаментальных и общетехнических наук</p> <p>РО 1-В ОПК 1 Работая в команде, разрабатывать варианты формулирования и решения научно-исследовательских, технических, организационно-экономических и комплексных задач, применяя знания фундаментальных и общетехнических наук</p>
	ОПК-6 Способен планировать и организовать работы по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности с учетом энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла и продукта.	<p>РО1-3 ОПК6 Перечислить основные технические параметры и технологические характеристики эксплуатируемого оборудования и реализуемых технологических процессов</p> <p>РО2-3 ОПК6 Назвать имеющиеся ограничения режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов</p> <p>РО3-3 ОПК6 Объяснить принципы энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта</p> <p>РО1-У ОПК6 Технически грамотно формулировать задания по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов с учетом имеющихся ограничений режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов</p> <p>РО2-У ОПК6 Оценивать ход эксплуатации технологического оборудования и реализации технологических процессов на основании</p>

		<p>визуального анализа и показаний контрольно-измерительной аппаратуры.</p> <p>РО3-У ОПК6 Обоснованно корректировать ход эксплуатации технологического оборудования и реализации технологических процессов, добиваясь повышения уровня энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта.</p> <p>РО1-В ОПК5 Организовать в соответствии с разработанным утвержденным планом выполнение работ по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности</p> <p>РО2-В ОПК5 Предлагать и аргументированно доказывать целесообразность корректировок параметров эксплуатации оборудования и реализации технологических процессов для повышения уровня энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта.</p> <p>РО1-ЛК ОПК6 Демонстрировать ответственное отношение к работе, организаторские способности.</p>
	<p>ПК-1 – Способен организовывать, планировать и контролировать процессы измерений параметров и свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>Иметь углубленные знания физико-химических свойств наноматериалов и наноструктур, знать устройство, принципы работы и правила эксплуатации оборудования для исследования свойств наноматериалов и наноструктур.</p> <p>Работать на технологическом оборудовании в соответствии с инструкциями по эксплуатации и технической документацией, планировать проведение работ, получать, анализировать, обобщать данные по измерению свойств и параметров.</p> <p>Уметь работать с современным оборудованием, владеть методами планирования, ставить и анализировать задачи для оптимизации и совершенствования исследований.</p>
<p>Физика наноматериалов</p>	<p>ОПК 1 Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания.</p>	<p>РО 1-3 ОПК 1 Соотносить проблемную область с соответствующей областью фундаментальных и общеинженерных наук</p> <p>РО 2-3 ОПК 1 Привести примеры терминологии, принципов, методологических подходов и законов фундаментальных и общеинженерных наук, применимых для формулирования и решения задач проблемной области знания.</p> <p>РО 1-У ОПК 1 Использовать для формулирования и решения задач проблемной области терминологию, основные принципы, методологические подходы и законы фундаментальных и общеинженерных наук.</p> <p>РО 1-У ОПК 1 Критически оценить возможные способы решения задач проблемной области, используя знания фундаментальных и общеинженерных наук</p> <p>РО 1-В ОПК 1 Работая в команде, разрабатывать варианты формулирования и решения научно-исследовательских, технических,</p>

		<p>организационно-экономических и комплексных задач, применяя знания фундаментальных и общеинженерных наук</p> <p>РО1-ЛК ОПК1 Проявлять лидерские качества и умения командной работы.</p>
	<p>ОПК-6 Способен планировать и организовать работы по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности с учетом энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла и продукта.</p>	<p>РО1-3 ОПК6 Перечислить основные технические параметры и технологические характеристики эксплуатируемого оборудования и реализуемых технологических процессов</p> <p>РО2-3 ОПК6 Назвать имеющиеся ограничения режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов</p> <p>РО3-3 ОПК6 Объяснить принципы энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта</p> <p>РО1-У ОПК6 Технически грамотно формулировать задания по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов с учетом имеющихся ограничений режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов</p> <p>РО2-У ОПК6 Оценивать ход эксплуатации технологического оборудования и реализации технологических процессов на основании визуального анализа и показаний контрольно-измерительной аппаратуры.</p> <p>РО3-У ОПК6 Обоснованно корректировать ход эксплуатации технологического оборудования и реализации технологических процессов, добиваясь повышения уровня энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта.</p> <p>РО1-В ОПК5 Организовать в соответствии с разработанным утвержденным планом выполнение работ по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности</p> <p>РО2-В ОПК5 Предлагать и аргументированно доказывать целесообразность корректировок параметров эксплуатации оборудования и реализации технологических процессов для повышения уровня энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта.</p> <p>РО1-ЛК ОПК6 Демонстрировать ответственное отношение к работе, организаторские способности.</p>
<p>Физика твердого тела и твердотельная электроника</p>	<p>ОПК 1 Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания.</p>	<p>РО 1-3 ОПК 1 Соотносить проблемную область с соответствующей областью фундаментальных и общеинженерных наук</p> <p>РО 2-3 ОПК 1 Привести примеры терминологии, принципов, методологических подходов и законов фундаментальных и общеинженерных наук, применимых для формулирования и решения задач проблемной области знания.</p> <p>РО 1-У ОПК 1 Использовать для формулирования и решения задач проблемной</p>

		<p>области терминологию, основные принципы, методологические подходы и законы фундаментальных и общинженерных наук. РО 1-У ОПК 1 Критически оценить возможные способы решения задач проблемной области, используя знания фундаментальных и общинженерных наук РО1-ЛК ОПК1 Проявлять лидерские качества и умения командной работы.</p>
	<p>ОПК-6 Способен планировать и организовать работы по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности с учетом энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла и продукта.</p>	<p>РО1-3 ОПК6 Перечислить основные технические параметры и технологические характеристики эксплуатируемого оборудования и реализуемых технологических процессов РО2-3 ОПК6 Назвать имеющиеся ограничения режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов РО3-3 ОПК6 Объяснить принципы энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта РО1-У ОПК6 Технически грамотно формулировать задания по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов с учетом имеющихся ограничений режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов РО2-У ОПК6 Оценивать ход эксплуатации технологического оборудования и реализации технологических процессов на основании визуального анализа и показаний контрольно-измерительной аппаратуры. РО3-У ОПК6 Обоснованно корректировать ход эксплуатации технологического оборудования и реализации технологических процессов, добиваясь повышения уровня энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта. РО2-В ОПК5 Предлагать и аргументированно доказывать целесообразность корректировок параметров эксплуатации оборудования и реализации технологических процессов для повышения уровня энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта. РО1-ЛК ОПК6 Демонстрировать ответственное отношение к работе, организаторские способности.</p>
	<p>ПК-1 – Способен организовывать, планировать и контролировать процессы измерений параметров и свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>Иметь углубленные знания физико-химических свойств наноматериалов и наноструктур, знать устройство, принципы работы и правила эксплуатации оборудования для исследования свойств наноматериалов и наноструктур. Работать на технологическом оборудовании в соответствии с инструкциями по эксплуатации и технической документацией, планировать проведение работ, получать, анализировать, обобщать данные по измерению свойств и параметров.</p>

		Уметь работать с современным оборудованием, владеть методами планирования, ставить и анализировать задачи для оптимизации и совершенствования исследований.
Физика полупроводников и диэлектриков	ОПК 1 Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания.	<p>РО 1-3 ОПК 1 Соотносить проблемную область с соответствующей областью фундаментальных и инженерных наук</p> <p>РО 2-3 ОПК 1 Привести примеры терминологии, принципов, методологических подходов и законов фундаментальных и инженерных наук, применимых для формулирования и решения задач проблемной области знания.</p> <p>РО 1-У ОПК 1 Использовать для формулирования и решения задач проблемной области терминологию, основные принципы, методологические подходы и законы фундаментальных и инженерных наук.</p> <p>РО 1-У ОПК 1 Критически оценить возможные способы решения задач проблемной области, используя знания фундаментальных и инженерных наук</p> <p>РО1-ЛК ОПК1 Проявлять лидерские качества и умения командной работы.</p>
	ОПК-6 Способен планировать и организовать работы по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности с учетом энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла и продукта.	<p>РО1-3 ОПК6 Перечислить основные технические параметры и технологические характеристики эксплуатируемого оборудования и реализуемых технологических процессов</p> <p>РО2-3 ОПК6 Назвать имеющиеся ограничения режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов</p> <p>РО1-У ОПК6 Технически грамотно формулировать</p> <p>РО1-ЛК ОПК6 Демонстрировать ответственное отношение к работе, организаторские способности.</p>
	ПК-1 – Способен организовывать, планировать и контролировать процессы измерений параметров и свойств наноматериалов и наноструктур	<p>Иметь углубленные знания физико-химических свойств наноматериалов и наноструктур, знать устройство, принципы работы и правила эксплуатации оборудования для исследования свойств наноматериалов и наноструктур.</p> <p>Работать на технологическом оборудовании в соответствии с инструкциями по эксплуатации и технической документацией, планировать проведение работ, получать, анализировать, обобщать данные по измерению свойств и параметров.</p> <p>Уметь работать с современным оборудованием, владеть методами планирования, ставить и анализировать задачи для оптимизации и совершенствования исследований.</p>
Резонансные методы в физике	ОПК 1 Способен формулировать и решать научно-исследовательские,	<p>РО 1-3 ОПК 1 Соотносить проблемную область с соответствующей областью фундаментальных и инженерных наук</p> <p>РО 2-3 ОПК 1 Привести примеры терминологии,</p>

	<p>технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания.</p>	<p>принципов, методологических подходов и законов фундаментальных и инженерных наук, применимых для формулирования и решения задач проблемной области знания.</p> <p>РО 1-У ОПК 1 Использовать для формулирования и решения задач проблемной области терминологию, основные принципы, методологические подходы и законы фундаментальных и инженерных наук.</p> <p>РО 1-У ОПК 1 Критически оценить возможные способы решения задач проблемной области, используя знания фундаментальных и инженерных наук</p>
	<p>ПК-1 – Способен организовывать, планировать и контролировать процессы измерений параметров и свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>Иметь углубленные знания физико-химических свойств наноматериалов и наноструктур, знать устройство, принципы работы и правила эксплуатации оборудования для исследования свойств наноматериалов и наноструктур.</p> <p>Работать на технологическом оборудовании в соответствии с инструкциями по эксплуатации и технической документацией, планировать проведение работ, получать, анализировать, обобщать данные по измерению свойств и параметров.</p> <p>Уметь работать с современным оборудованием, владеть методами планирования, ставить и анализировать задачи для оптимизации и совершенствования исследований.</p>
<p>Методы нанолитографии</p>	<p>ОПК 1 Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания.</p>	<p>РО 1-3 ОПК 1 Соотносить проблемную область с соответствующей областью фундаментальных и инженерных наук</p> <p>РО 2-3 ОПК 1 Привести примеры терминологии, принципов, методологических подходов и законов фундаментальных и инженерных наук, применимых для формулирования и решения задач проблемной области знания.</p> <p>РО 1-У ОПК 1 Использовать для формулирования и решения задач проблемной области терминологию, основные принципы, методологические подходы и законы фундаментальных и инженерных наук.</p> <p>РО 1-У ОПК 1 Критически оценить возможные способы решения задач проблемной области, используя знания фундаментальных и инженерных наук</p> <p>РО 1-В ОПК 1 Работая в команде, разрабатывать варианты формулирования и решения научно-исследовательских, технических, организационно-экономических и комплексных задач, применяя знания фундаментальных и инженерных наук</p> <p>РО1-ЛК ОПК1 Проявлять лидерские качества и умения командной работы.</p>
	<p>ОПК-6 Способен планировать и организовать работы по эксплуатации технологического</p>	<p>РО1-3 ОПК6 Перечислить основные технические параметры и технологические характеристики эксплуатируемого оборудования и реализуемых технологических процессов</p>

	<p>оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности с учетом энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла и продукта.</p>	<p>РО2-3 ОПК6 Назвать имеющиеся ограничения режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов РО3-3 ОПК6 Объяснить принципы энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта РО1-У ОПК6 Технически грамотно формулировать задания по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов с учетом имеющихся ограничений режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов РО2-У ОПК6 Оценивать ход эксплуатации технологического оборудования и реализации технологических процессов на основании визуального анализа и показаний контрольно-измерительной аппаратуры. ОПК6 Демонстрировать ответственное отношение к работе, организаторские способности.</p>
	<p>ПК-1 – Способен организовывать, планировать и контролировать процессы измерений параметров и свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>Иметь углубленные знания физико-химических свойств наноматериалов и наноструктур, знать устройство, принципы работы и правила эксплуатации оборудования для исследования свойств наноматериалов и наноструктур. Работать на технологическом оборудовании в соответствии с инструкциями по эксплуатации и технической документацией, планировать проведение работ, получать, анализировать, обобщать данные по измерению свойств и параметров. Уметь работать с современным оборудованием, владеть методами планирования, ставить и анализировать задачи для оптимизации и совершенствования исследований.</p>

1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в форме:

Очная

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Доменная структура сегнетоэлектриков

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Шур Владимир Яковлевич	доктор физико- математических наук, доцент	профессор	кафедра физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

Рекомендовано учебно-методическим советом института естественных наук и математики

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля Доменная структура сегнетоэлектриков

- Традиционная (репродуктивная) технология;

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	Введение. Основные определения	Развитие учения о сегнетоэлектричестве. Основные физические свойства сегнетоэлектриков. Температурные зависимости спонтанной поляризации и диэлектрической проницаемости при фазовых переходах первого и второго рода. Закон Кюри-Вейсса. Кристаллографическое рассмотрение сегнетоэлектричества. Сегнетоэлектрики типа смещения и типа порядок-беспорядок. Пироэлектрики, сегнетоэластики, антисегнетоэлектрики - определения и их основные свойства.
2	Сегнетоэлектрические домены	Равновесная и метастабильная доменная структура. Методы визуализации доменной структуры сегнетоэлектриков: оптические, зондовые, эмиссионные и декорирование. Параметры равновесной доменной структуры. Нейтральные и заряженные доменные стенки. Формирование доменной структуры при сегнетоэлектрическом фазовом переходе и ее эволюция при последующем охлаждении.
3	Процесс экранирования. Кинетика доменов	Механизмы внешнего и объемного экранирования деполаризующих полей. Влияние собственных и искусственных диэлектрических зазоров. Связанное внутреннее поле. Механизмы переключения поляризации в сегнетоэлектриках. Кинетика доменной структуры одноосных сегнетоэлектриков в электрическом поле. Зародышеобразование. Прямое прорастание доменов. Боковое движение доменных стенок. Коалесценция. Самопроизвольное обратное переключение. Эффекты запаздывания экранирования. Движение доменной стенки при неэффективном экранировании. Эффекты торможения. Скачкообразное движение доменных стенок.
4	Форма доменов	Зависимость от симметрии. Детерминированное и стохастическое зародышеобразование. Эффект сохранения формы при слиянии доменов. Форма доменов при неравновесных условиях переключения. Потеря устойчивости формы. Формирование дендритных доменов.
5	Процессы переключения поляризации	Плавное движение доменных стенок. Формирование нанодоменов перед движущейся доменной стенкой. Коррелированное зародышеобразование. Широкая доменная граница (broad domain boundary). Разрастание доменных ансамблей. Формирование нанодоменных структур в результате импульсного лазерного нагрева. Интегральные методы исследования. Измерение петли диэлектрического гистерезиса методом Сойера-Тауера. Основные параметры

		петли гистерезиса. Измерение тока переключения по методике Мерца. Анализ тока переключения с использованием формулы Колмогорова-Аврами. Учет влияния конечных размеров. Изменение размерности роста - геометрические катастрофы.
6	Фотосегнетоэлектрические явления	Оптические свойства сегнетоэлектриков. Фотовольтаический и фотогальванический эффекты. Фоторефрактивный эффект и оптическое повреждение. Фотодоменный эффект. Генерация второй гармоники – фазовый квазисинхронизм.
7	Применение сегнетоэлектриков	Доменная инженерия. Преобразование частоты лазерного излучения. Генерация второй гармоники в кристаллах с периодической доменной структурой. Применение сегнетоэлектриков без эффекта переключения.

1.3. Программа дисциплины реализуется:
на государственном языке Российской Федерации (русский).

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Электронные ресурсы (издания)

Не используются

Печатные издания

1. Голенищев-Кутузов А.В., и др. Индуцированные доменные структуры в электро- и магнитоупорядоченных веществах / А. В. Голенищев-Кутузов, В. А. Голенищев-Кутузов, Р. И. Калимуллин.— М. : Физматлит, 2003.— 136 с.
2. Лайнс М., Гласс А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы = Principles and application of ferroelectrics and related materials / М. Лайнс, А. Гласс ; пер. с англ. под ред. В. В. Леманова, Г. А. Смоленского .— М. : Мир, 1981.— 736 с.
3. Фридкин В.М. Фотосегнетоэлектрики / В. М. Фридкин.— Москва : Наука, 1979. — 264 с. 8 экз.
4. Струков Б.А., Леванюк А.П. Физические основы сегнетоэлектрических явлений в кристаллах : Учеб. пособие для физ. спец. вузов .— 2-е изд. перераб. и доп. — М. : Наука. Физматлит, 1995.— 301с.
5. Физика сегнетоэлектрических явлений. Под ред. Смоленского Г.А. Наука, М., 1985. Физика сегнетоэлектрических явлений / [Г. А. Смоленский, В. А. Боков, И. А. Исупов [и др.]; Акад. наук СССР. Физ.-техн. ин-т им. А. Ф. Иоффе ; отв. ред. Г. А. Смоленский. — Ленинград : Наука, Ленинградское отделение, 1985 .— 395 с.

Профессиональные базы данных, информационно-справочные

1. Institute of Physics (IOP) <http://iopscience.iop.org/>
2. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ <https://www.rfbr.ru/>
3. Официальные сайты международных и российских конференций
4. Российская конференция по физике сегнетоэлектриков <https://nanocenter.urfu.ru>

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib2.urfu.ru/rus/>
2. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>
3. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции; Семинарские занятия; Консультации; Самостоятельная работа студентов	Аудитория для проведения занятий лекционного, семинарского типа, текущей и промежуточной аттестации, оснащённая мультимедийным оборудованием	Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL В Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018 Браузер Google Chrome – свободное ПО; Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО; MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Методы нанолитографии

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Ахматханов Андрей Ришатович	кандидат физико- математических наук, доцент	доцент	кафедра физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

Рекомендовано учебно-методическим советом института естественных наук и математики

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

1.2. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля Методы нанолитографии

– Традиционная (репродуктивная) технология;

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	Введение	Предмет, цель, задачи и структура курса. История фотолитографии. Фотолитография как один из основных промышленных методов получения микро- и наноструктур. Области применения фотолитографии: микроэлектроника, нанофотоника, микро- и нанозелектромеханические системы (MEMS, NEMS). Развитие микроэлектронной промышленности. Закон Мура, увеличение степени интеграции и размеров пластин, уменьшение характерных размеров элементов. Фабрики микроэлектронного производства. Классификация литографических методов микро- и наноструктурирования. Основные этапы технологического процесса фотолитографии.
2	Резисты	Классификация резистов. Позитивные резисты. ДХН Резисты. Негативные резисты. Химические процессы при экспонировании и проявлении резистов. Растворители для резистов, их основные свойства. Хранение резистов, старение. Параметры резистов (толщина, чувствительность, спектральный диапазон, оптические свойства, стойкость к термической, химической и плазменной обработке). Спектральный диапазон резистов. Резисты для ближнего УФ диапазона. Особенности резистов для дальнего и экстремального УФ диапазонов. Химически усиленные резисты. Электронорезисты, рентгенорезисты.
3	Подготовка поверхности	Необходимость очистки поверхности. Классификация типов загрязнений по форме и виду. Источники загрязнений. Контроль загрязнений, микроскопические и аналитические методы контроля. Методы предотвращения загрязнений. Физические и химические методы очистки в жидкой и газовой фазе, механические методы очистки. Методы повышения эффективности очистки. Очистка с помощью плазменных технологий. Промывка и сушка. Смачиваемость поверхности как индикатор чистоты. Обработка поверхности промоутерами адгезии.
4	Процессы нанесения резиста	Требуемые характеристики пленок резиста. Типы процессов нанесения: центрифугирование, распыление. Контроль параметров слоя резиста. Дефекты нанесения и методы борьбы с ними. Адгезия резиста к различным поверхностям.
5	Термическая обработка резиста	Необходимость термической обработки. Типы термической обработки. Предварительная термическая обработка резиста после нанесения. Роль содержания растворителя и воды в пленке резиста на ее свойства. Термическая обработка после проявления: сушка и задубливание. Физико-химические

		процессы при термической обработке резиста. Оборудование для термической обработки резиста.
6	Совмещение и экспонирование	<p>Процесс экспонирования. Типы фотолитографии: контактная и проекционная. Принципы формирования изображения. Преимущества и особенности проекционной фотолитографии. Оборудование для фотолитографии. Безшаблонные методы экспонирования: электронно-лучевая литография, лазерная литография. Скорость обработки пластин в технологическом процессе экспонирования.</p> <p>Многослойный характер процессов литографии при создании микроэлектронных устройств – необходимость совмещения слоев. Совмещение слоев в контактной и проекционной фотолитографии. Метки совмещения. Точность совмещения. Усовершенствованные методы для совмещения с высокой точностью. Автоматизация процесса совмещения.</p> <p>Пространственное разрешение процесса фотолитографии. Элементы дифракционной теории формирования изображений при контактной и проекционной литографии. Эффекты близости. Методики улучшения разрешения фотолитографии: уменьшение длины волны излучения, иммерсионная литография, технологические методики улучшения разрешения (коррекция эффекта близости, фазосдвигающие маски, двойное экспонирование). Современное состояние и прогнозы развития технологии фотолитографии.</p>
7	Проявка резиста	<p>Принципиальные отличия позитивных и негативных резистов. Механизмы проявки изображения. Технология обращения изображения. Скорость проявки, контраст резиста. Поперечный профиль резистной маски. Методы и оборудование для проявки резиста. Методы контроля и оптимизации процесса проявки.</p>
8	Снятие резиста	<p>Жидкостные химические методы снятия резиста: растворители, кислотные и щелочные составы. Плазмохимические методы снятия резиста. Снятие сильно задубленного резиста. Подбор оптимального метода снятия резиста.</p>
9	Фотошаблоны	<p>Фотошаблоны для контактной и проекционной фотолитографии. Процесс разработки и изготовления фотошаблонов. Метрология и контроль фотошаблонов.</p>
10	Методы переноса изображения	<p>Классификация методов обработки материала с использованием резистной маски: нанесение, травление и модификация.</p> <p>Классификация методов нанесения тонких пленок. Типы наносимых веществ. Физическое нанесение через газовую фазу (PVD): электронно-лучевое и термическое испарение, молекулярно-лучевая эпитаксия, распыление, магнетронное распыление, реактивное распыление. Проблема получения тонкой пленки заданного состава. Химическое нанесение через газовую фазу (CVD). Золь-гель технология. Гальваническое осаждение. Применимость методов для нанесения различных типов веществ.</p> <p>Использование фоторезиста в качестве маски при нанесении. Прямая и обратная (взрывная, lift-off) литография. Механизм взрывной литографии. Требования к профилю резиста.</p> <p>Травление. Жидкостное химическое травление. Процесс травления. Растворение, диффузия, конвекция. Травители, практические рецепты.</p> <p>Плазмохимическое и реактивно-ионное сухое травление. Изотропное и анизотропное травление. Классификация</p>

		методик сухого травления. Оборудование для сухого травления. Используемые газы, практические рецепты. Использование резистной маски при травлении. Контроль размеров элементов при травлении. Методики модификация поверхностного слоя: диффузия, ионная имплантация.
11	От микро- к нанолитографии	Потребность в разработке методов нанолитографии: развитие микроэлектроники, нанотехнологии, нанофотоника, наноэлектромеханические системы. Возможности и перспективы оптической фотолитографии. Литография в области экстремального ультрафиолета (EUV). Масочная электронная и рентгеновская литография. Прямая запись электронным пучком. Преимущества и недостатки. Рассеяние пучка электронов при экспонировании резистов, эффект близости, методы коррекции эффекта близости. Многолучевые методы. Оборудование для электронно-лучевой литографии. Ионно-лучевая литография. Наноимпринт литография. Типы наноимпринт литографии. Материалы и оборудование. Литографическая индуцированная самосборка. Формирование наноструктур с помощью сканирующей туннельной микроскопии и сканирующей зондовой микроскопии. «Nanoink Dip-rep» литография.
12	Технологии чистоты в микро- и нанолитографии	Введение в технологии чистоты. Определение термина «чистое помещение». Роль чистых помещений в развитии науки и техники, в частности в нанотехнологии. Принципы построения чистых помещений. История чистых помещений. Стандарты классификации чистых помещений. Класс чистоты помещения. Классификация чистых помещений по типам воздухообмена. Турбулентные чистые помещения. Чистые помещения с однонаправленным движением воздуха. Характеристики воздухообмена. Способы снижения издержек, изоляторы, мини-зоны. Конструкционные материалы для чистых помещений. Высокоэффективная фильтрация воздуха. Определение концентрации частиц. Основы эксплуатации чистых помещений. Одежда для чистых помещений и дополнительные компоненты чистых помещений. Чистые технологические среды и материалы. Особо чистые химические реактивы, газы, твердые вещества. Свойства, применение и методы получения деионизованной воды.

1.3. Программа дисциплины реализуется:
на государственном языке Российской Федерации (русский).

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Электронные ресурсы (издания)

1. Батурин И.С. Формирование микро- и наноструктур с помощью литографических методов, http://study.urfu.ru/view/aid_view.aspx?AidId=11680

Печатные издания

1. Ефимов Е.И., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И. Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надежность : [учеб. пособие для приборостроит. специальностей вузов]

/ И. Е. Ефимов, И. Я. Козырь, Ю. И. Горбунов .— 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Высшая школа, 1986.— 463 с.

2. Ефимов И.Е. Микроэлектроника. Проектирование, виды микросхем, функциональная микроэлектроника : учеб. пособие для вузов / И. Е. Ефимов, И. Я. Козырь, Ю. И. Горбунов .— 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Высшая школа, 1987.— 416 с.

3. Барыбин А.А. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы: учеб. пособие / А.А. Барыбин .— Москва : Физматлит, 2008.— 423 с.

Профессиональные базы данных, информационно-справочные

1. Institute of Physics (IOP) <http://iopscience.iop.org/>
2. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ <https://www.rfbr.ru/>
3. Официальные сайты международных и российских конференций

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib2.urfu.ru/rus/>
2. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>
3. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции, практические и семинарские занятия. Консультации. Самостоятельная работа студентов	Аудитория для проведения занятий лекционного, семинарского типа, текущей и промежуточной аттестации, оснащённая мультимедийным оборудованием	Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL В Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018 Браузер Google Chrome – свободное ПО; Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО; MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Резонансные методы в физике

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Легких Николай Владимирович	кандидат физико- математических наук, доцент	доцент	кафедра физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

Рекомендовано учебно-методическим советом института естественных наук и математики

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля Резонансные методы в физике

– Традиционная (репродуктивная) технология;

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	Введение	Радиоспектроскопия как система методов исследования парамагнитных спектров вещества. Основные методы радиоспектроскопии – электронный парамагнитный резонанс (ЭПР), ядерный магнитный резонанс (ЯМР), двойной электронно-ядерный резонанс (ДЭЯР), ядерный квадрупольный резонанс (ЯКР).
2	Парамагнитные центры в кристаллах	Теория кристаллического поля. Расщепление d и f-термов ионов переходных групп в поле кубической симметрии.
3	Спектр ЭПР и обобщенный спиновый гамильтониан	Спектр ЭПР и спиновый гамильтониан. Вывод спинового гамильтониана для орбитально невырожденного основного состояния. Спиновый гамильтониан в случае вырожденного основного состояния. Ионы в S-состоянии. Обобщенный спиновый гамильтониан.
4	Экспериментальные методы определения констант спинового гамильтониана	Расчет спектров ЭПР в приближении «сильного магнитного поля». Угловая зависимость спектра ЭПР.
5	ЭПР и структурные фазовые переходы	ЭПР и структурные фазовые переходы в сегнетоэлектрических кристаллах.
6	Применение ЭПР в химии	Спектр ЭПР органических радикалов. Сверхтонкая структура ароматических свободных радикалов. Применение ЭПР для изучения делокализации спиновой плотности неспаренного электрона в ароматических соединениях.
7	ЯМР высокого разрешения	Химический сдвиг. Протонные химические сдвиги (теория).
8	Ядерный квадрупольный резонанс	Спиновый гамильтониан и спектр ЯКР. Спектр ЯКР в магнитном поле (случай аксиальной симметрии градиента кристаллического поля).
9	Двойной электронно-ядерный резонанс (ДЭЯР)	Экспериментальное наблюдение спектров ДЭЯР. Применение ДЭЯР для изучения сверхтонких взаимодействий в кристаллах.
10	Электро-полевой эффект (ЭПЭ) в парамагнитном резонансе	Применение ЭПЭ для изучения ориентационной кинетики парамагнитных дипольных комплексов в кристаллах.

1.3 Программа дисциплины реализуется:
на государственном языке Российской Федерации (русский).

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

ДИСЦИПЛИНЫ

Электронные ресурсы (издания)

Не используются

Печатные издания

1. Сликтер Ч. Основы теории магнитного резонанса / Ч.П. Сликтер; Пер. Н.Н. Корста и др. ; Под ред. Г.В. Скродского.— 2-е изд., перераб., доп. и испр. — М. : Мир, 1981.— 448 с.
2. Иванов С. В. Избранные главы физики. Магнетизм. Магнитный резонанс. Фазовые переходы: курс лекций / С.В. Иванов, П.С. Мартышко.— Москва : ЛКИ, 2008.— 208 с.
3. Альтшулер С.А., Козырев Б.М. Электронный парамагнитный резонанс соединений элементов промежуточных групп / С.А. Альтшулер.— Изд. 2-е .— М. : Издательство Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1972.— 674 с.

Профессиональные базы данных, информационно-справочные

1. Institute of Physics (IOP) <http://iopscience.iop.org/>
2. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ <https://www.rfbr.ru/>
3. Официальные сайты международных и российских конференций

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib2.urfu.ru/rus/>
2. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>
3. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции; Семинарские занятия; Консультации; Самостоятельная работа студентов	Аудитория для проведения занятий лекционного, семинарского типа, текущей и промежуточной аттестации, оснащённая мультимедийным оборудованием	Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL B Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018 Браузер Google Chrome – свободное ПО; Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО;

			MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с
--	--	--	-------------------------------------------------------------------

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Физика наноматериалов

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Трефилова Анна Николаевна	кандидат физико- математических наук, доцент	доцент	кафедра физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

Рекомендовано учебно-методическим советом института естественных наук и математики

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля Физика наноматериалов

- Традиционная (репродуктивная) технология;

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	Введение	Терминология. Место объектов нанометрического масштаба в окружающем мире. Возникновение и развитие нанотехнологии. Примеры наноматериалов и наноустройств. Обзор областей применения наноматериалов.
2	Фуллерены и углеродные нанотрубки	Фуллерен — новая форма углерода. Структура C_{60} и других кластеров углерода. Методы получения фуллеренов. Химия фуллеренов. Интеркалированные соединения фуллеренов. Эндоэдральные структуры фуллеренов. Фуллериты. Свойства фуллеритов. Превращения фуллерита C_{60} при высоких давлениях и температурах. Возможные пути использования фуллеренов. Углеродные нанотрубки. Методы получения углеродных нанотрубок. Структура нанотрубок. Физические свойства углеродных нанотрубок. Капиллярные эффекты в нанотрубках углерода. Электрические свойства углеродных нанотрубок. Эмиссионные свойства нанотрубок углерода. Магнитная восприимчивость нанотрубок. Практическое использование нанотрубок. Графен. Перспективы использования.
3	Особенности наноструктуры. Размерные эффекты	Классификация наноструктур. Квантовые точки. Компактированные наносистемы и нанокомпозиты. Тонкие наноструктурированные пленки. Органические соединения и полимеры. Поверхность монокристаллов, нанокластеров и пористых сорбентов. Примесные атомы на поверхности. Структурное состояние нанокристаллических твердых тел. Физические свойства нанокристаллических твердых тел. Механические свойства. Магнитные свойства нанокристаллических ферромагнетиков. Изменение физических свойств в зависимости от размеров кристаллитов. Влияние размера частиц на фазовые переходы.
4	Методы исследования наноструктур	Электронная микроскопия. Просвечивающая ЭМ. Сканирующая ЭМ. Современные экспериментальные методы исследований. Сканирующая зондовая микроскопия. Особенности проведения экспериментов с нанообъектами.
5	Методы получения наноструктур	Подходы «сверху-вниз» и «снизу-вверх» к получению наноматериалов. Высокотемпературная конденсация из газовой фазы. Жидкофазная конденсация (золь-гель технология). Диспергирование. Наноструктурирование под действием давления со сдвигом. Компактирование (консолидация) нанокластеров. Преимущества и недостатки каждого метода.
6	Самосборка. Нанобиотехнологии	Процесс самосборки. Белковая молекула как пример самосборки в живой природе. Применение нанотехнологий в медицине. Биосенсорная нанодиагностика. Диагностика раковых заболеваний с помощью наночастиц. Наночастицы как средства доставки лекарств.

		Наноинструменты и наноманипуляторы. Нанороботы для медицинских целей.
7	Перспективы развития нанотехнологий	Совершенствование методов синтеза и очистки, применение методов направленного роста. Новые перспективы создания программируемых материалов, биороботов, квантовых компьютеров.

1.2. Программа дисциплины реализуется:
на государственном языке Российской Федерации (русский).

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Электронные ресурсы (издания)

Не используются

Печатные издания

1. Андриевский Р.А Наноструктурные материалы : учеб. пособие для студентов вузов / Р. А. Андриевский, А. В. Рагуля.— М. : Академия, 2005.— 192 с.
2. Уорден К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции. Свойства и применение / К. Уорен; пер. с англ. под ред. С. Л. Баженова.— Москва : Техносфера, 2006.— 224 с.
3. Шик А. Я., Бакуева Л. Г., Мусихин С. Ф., Рыков С. А. Физика низкоразмерных систем : Учеб. пособие для студентов вузов / А.Я. Шик, Л.Г. Бакуева, С.Ф. Мусихин, С.А. Рыков; Под общ. ред. В.И. Ильина, А.Я. Шика.— СПб. : Наука, 2001.— 160 с.
4. Методы получения и свойства нанообъектов : учеб. пособие / [Н. И. Минько, В. В. Строкова, И.В. Жерновский, В.М. Нарцев].— Москва: Флинта: Наука, 2009.—168 с.
5. Ратнер М., Ратнер Д. Нанотехнология. Простое объяснение очередной гениальной идеи / Марк Ратнер, Даниэль Ратнер [пер. с англ. и ред. А. В. Назаренко].— М. ; СПб. ; Киев : Вильямс, 2004, 2007.— 240 с.
6. Неволин В. К. Зондовые нанотехнологии в электронике : монография / В.К. Неволин .— Изд. 2-е, испр. — Москва : Техносфера, 2014.— 174 с.

Профессиональные базы данных, информационно-справочные

1. Institute of Physics (IOP) <http://iopscience.iop.org/>
2. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ <https://www.rfbr.ru/>
3. Официальные сайты международных и российских конференций по физике наноматериалов

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib2.urfu.ru/rus/>
2. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>
3. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции; Семинарские занятия; Консультации; Самостоятельная работа студентов	Аудитория для проведения занятий лекционного, семинарского типа, текущей и промежуточной аттестации, оснащённая мультимедийным оборудованием	Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL В Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018 Браузер Google Chrome – свободное ПО; Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО; MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Физика полупроводников и диэлектриков

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Германенко Александр Викторович	доктор физико- математических наук, доцент	профессор	кафедра физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

Рекомендовано учебно-методическим советом института естественных наук и математики

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля Физика полупроводников и диэлектриков

- Традиционная (репродуктивная) технология;

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	История. Основные свойства полупроводников. Технология. Применение.	История открытия полупроводников. Ранние исследования. Основные свойства полупроводников. Применение полупроводников в науке и технике. Классификация полупроводников (по составу, по ширине запрещенной зоны, разделение на прямозонные и непрямозонные материалы, по магнитным свойствам). Методы выращивания полупроводниковых кристаллов: метод Чохральского; газофазная эпитаксия; молекулярно-пучковая эпитаксия. Методы получения низко-размерных структур: двумерных квантовых слоев, квантовых проволок и точек.
2	Спектр полупроводников. Зонная структура	Элементы зонной теории. Формулировка общей квантово-механической задачи. Роль кулоновского взаимодействия в формировании спектра. Адиабатическое приближение и его применимость. Одноэлектронное приближение. Простейшие модели: одномерный ящик и модель Кронига-Пенни. Теорема Блоха. Предсказания моделей и их соответствие реальной ситуации. Зонный характер спектра в модели Кронига-Пенни. Волновая функция электрона в периодическом потенциале. Форма краев зон. Характер движения электрона в периодическом потенциале (движение во внешнем электрическом поле). Понятие групповой скорости. Эффективная масса. Типы зонной структуры в кристаллических телах: металлы, полуметаллы, диэлектрики. Зонная структура конкретных полупроводников: германий, кремний, полупроводники со структурой цинковой обманки. Бесщелевые и узкозонные полупроводники. Полуметаллы. Модель Кейна (характерные особенности и различные предельные случаи). Модель Латтинжера. Лёгкие и тяжёлые дырки. Энергетический спектр твердых растворов на HgCdTe и их магнитных аналогов HgMnTe. Влияние одноосного и всестороннего сжатия на спектр носителей.
3	Дефекты в полупроводниках	Энергетический спектр реальных полупроводников. Классификация дефектов. Различные виды дефектов (примеси замещения, внедрения, вакансии, наличие границы). Мелкие примесные уровни (водородоподобная примесь). Спектр и волновые функции мелких донорных и акцепторных состояний. Спектр слабо- и сильнолегированных полупроводников. Переход Мотта.

4	Статистика полупроводников	Статистика полупроводников. Распределение Ферми-Дирака. Уровень Ферми. Вырожденный и невырожденный электронный газ. Плотность состояний. Плотность состояний в анизотропной зоне. Эффективная масса плотности состояний. Концентрация носителей заряда в зонах и на локальных уровнях. Интегралы Ферми. Решение уравнения электронейтральности для собственного полупроводника. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в собственном полупроводнике. Решение уравнения электронейтральности в полупроводнике с одним типом однозарядных доноров. Температурная зависимость концентрации электронов в полупроводнике с одним типом однозарядных доноров. Решение уравнения электронейтральности и температурная зависимость концентрации электронов при одновременном наличии донорной и акцепторной примеси.
5	Явления переноса	Явления электронного переноса. Электропроводность. Подвижность. Транспортное время релаксации импульса. Закон Ома в анизотропных полупроводниках. “Дрейфовая” эффективная масса. Эффект Холла (один тип носителей, движущихся с одинаковой скоростью, малые магнитные поля). Характер движения электронов и дырок в скрещенных электрическом и магнитном полях. Тензор электропроводности, эффект Холла и магнитосопротивление в произвольном магнитном поле. Эффект Холла и магнитосопротивление для двух типов носителей заряда – электронов и дырок. Температурная и магнитополевая зависимость коэффициента Холла.
6	Уравнение Больцмана.	Уравнение Больцмана. Правило усреднения времени релаксации импульса. Эффект Холла и магнитосопротивление для невырожденного и вырожденного электронного газа. Холл-фактор. Коэффициент магнитосопротивления. Время релаксации и вероятность квантовых переходов. Рассеяние на ионизированной примеси. Зависимость времени релаксации от энергии для различных механизмов рассеяния. Температурная зависимость подвижности.
7	Магнитные квантовые эффекты	Магнитные квантовые эффекты. Энергетический спектр электронов и дырок в магнитном поле. Плотность состояний. Учет спина. Осцилляции Шубникова-де Гааза. Условия наблюдения. Определение концентрации и эффективной массы из осцилляций Шубникова-де Газа. Магнитофононный резонанс (МФР). Определение эффективной массы из МФР. Межзонное и примесное магнитное вымораживание носителей. Циклотронный резонанс (классическое рассмотрение).

1.2. Программа дисциплины реализуется:
на государственном языке Российской Федерации (русский).

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Электронные ресурсы (издания)

1. К.В. Шалимова. Физика полупроводников: учебник / К.В. Шалимова.— Москва : Лань, 2010.— 390с.

Печатные издания

1. А.И. Ансельм. Введение в теорию полупроводников. Лань. 2008. – 624 с. Введение в теорию полупроводников : учеб. пособие / А. И. Ансельм ; Науч.-метод. совет по физике М-ва образования и науки РФ .— Москва : Лань", 2016 .— 618 с.
2. Питер Ю, Мануэль Кардона. Основы физики полупроводников / Питер Ю, Мануэль Кардона; Пер. с англ. И. И. Решиной под ред. Б. П. Захарчени .— 3-е изд. — М. : Физматлит, 2002.— 560 с.
3. Имри Й. Введение в мезоскопическую физику / Й. Имри, пер. с англ. С. А. Булгадаева, А. С. Иоселевича, А. В. Лебедева, Н. М. Щелкачева под ред. А. С. Иоселевича.— М. : Физатлмт, 2004 .— 304 с.
4. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель; пер. с англ. А. А. Гусева, А. В. Пахнева под общ. ред. А. А. Гусева.— Москва : Наука, 1978.— 791 с. 99 экз.
5. Бонч-Бруевич В.Л, Калашников С.Г. Физика полупроводников: Учеб. пособие для физ. специальностей вузов / В. Л. Бонч-Бруевич, С. Г. Калашников.— М. : Наука, 1990.— 685 с.

Профессиональные базы данных, информационно-справочные

1. Institute of Physics (IOP) <http://iopscience.iop.org/>
2. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ <https://www.rfbr.ru/>
3. Официальные сайты международных и российских конференций

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib2.urfu.ru/rus/>
2. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>
3. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции; Семинарские занятия; Консультации; Самостоятельная работа студентов	Аудитория для проведения занятий лекционного, семинарского типа, текущей и промежуточной аттестации, оснащённая мультимедийным оборудованием. Компьютерный класс с установленным пакетом MathCAD.	Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education ALNG LicSAPk MVL B Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018 Браузер Google Chrome – свободное ПО;

			Браузер Mozilla Firefox – свободное ПО; MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с
--	--	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Физика твердого тела и твердотельная электроника

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Зырянова Наталья Павловна	кандидат физико-математических наук, доцент	доцент	кафедра физики конденсированного состояния и наноразмерных систем
2	Бабушкин Алексей Николаевич	доктор физико-математических наук, доцент	профессор	кафедра физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

Рекомендовано учебно-методическим советом института естественных наук и математики

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля Физика твердого тела и твердотельная электроника

- Традиционная (репродуктивная) технология;

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
1	Кристаллическая структура.	Что мы понимаем под структурой. Необходимость применения универсальных методов к исследованию структуры веществ разной природы. Изменение структуры вещества при изменении температуры и давления. Современные методы исследования структуры вещества. Дифракционные методы. Резонансные методы. Основные представления о симметрии кристаллов. Решетка Бравэ кристалла. Примитивная ячейка. (ячейка Вигнера — Зейтца). Элементарная ячейка кристалла. Элементы симметрии кристаллов. Кристаллографические сингонии. Понятие группы симметрии. Точечные группы симметрии. Пространственные группы симметрии.
2	Динамика кристаллической решетки	Теоретическое описание физических свойств диэлектриков при низких температурах. Модель кристаллической решетки Эйнштейна. Спектральная функция фононных частот. Температура Эйнштейна. Модель кристаллической решетки Дебая. Температура Дебая. Квантовая теория теплоемкости кристаллов. Ангармонические эффекты в кристаллах. Уравнение состояния кристалла. Тепловое расширение. Параметр Грюнейзена. Температурная зависимость коэффициента линейного расширения. Элементы кинетики и термодинамики газа фононов при низких температурах. Кинетическое уравнение Больцмана для газа фононов. Приближение времени релаксации. Нормальные процессы и процессы переброса. Фононный газ в идеальном диэлектрике. Баллистический режим движения фононов. Возможность существования в газе фононов стационарных токовых состояний. Влияние процессов переброса на движение фононов в идеальной решетке. Второй звук, условия его возникновения. Теплопроводность диэлектриков. Температурная зависимость теплопроводности. Атомарные и молекулярные криогенные кристаллы. Наведенное диполь-дипольное взаимодействие. Потенциал Леннард-Джонса для атомарных крио кристаллов. Уравнение соответственных состояний. Структура и физические свойства атомарных крио кристаллов. Классические молекулярные крио кристаллы. Потенциал межмолекулярного взаимодействия. Теплоемкость молекулярных крио кристаллов. Квантовые кристаллы. Условие устойчивости кристаллического состояния. Параметр де Бура. Квантовая диффузия. Вакансионны. Примесонны.
3	Электронная структура твердых тел	Гамильтониан твердого тела. Влияние статистики электронов на энергию свободного электрона в кристалле. Зонная структура твердого тела. Электроны и дырки. Поверхность

		Ферми и энергия Ферми. Влияние кристаллического взаимодействия на зонную структуру твердого тела. Теорема Блоха. Блоховские волновые функции. Поведение электрона на границе зон Бриллюэна. Межэлектронное взаимодействие. Методы Хартри и Хартри-Фока. Приближенные методы расчета электронной зонной структуры. Метод ортогонализированных плоских волн. Метод псевдопотенциала. Метод сильной связи. Металлы, полупроводники, диэлектрики. Примесные полупроводники.
4	Кинетические явления в твердых телах	Динамика электрона в твердом теле. Уравнение Больцмана для электронов. Электрический ток в твердом теле. Равновесные и неравновесные носители заряда. Межзонные переходы. Эффект Ганна. Диоды Ганна. Гальваномагнитные явления. Эффект Холла. Магнитосопротивление. Определение энергии Ферми с помощью эффекта Холла. Квантовый эффект Холла. Контактные явления. p-n переход и его выпрямляющее действие.
5	Полупроводниковые диоды	Методы получения p-n переходов. Энергетическая диаграмма p-n перехода. Плавные и резкие p-n переходы. Вольт-амперная характеристика p-n перехода. Пространственное распределение заряда в p-n переходе. Силовые диоды. Варикапы. Барьерная и диффузная емкость p-n перехода, их влияние на быстродействие диода. Явление пробоя p-n перехода. Лавинный, туннельный и тепловой типы пробоя. Вольт-амперная характеристика p-n перехода в области пробоя. Стабилитроны. Туннельные диоды. Образование N-образной вольт-амперной характеристики туннельного диода. Туннельные диоды и диоды Ганна как генераторы. Контакты металла и полупроводника. Положение уровня Ферми в области контакта. Диоды с барьером Шоттки. Вольт-амперная характеристика диода Шоттки.
6	Оптоэлектронные приборы	Механизмы поглощения света в полупроводнике. Фотодиоды, светодиоды. Преобразователи солнечной энергии (солнечные элементы). Механизмы излучательной рекомбинации. Полупроводниковый инжекционный лазер и его принципы работы.
7	Транзисторы	Биполярные транзисторы. Устройство и энергетическая диаграмма транзистора. Параметры, определяющие коэффициент усиления транзистора. Коэффициент инжекции эмиттера. Коэффициент переноса носителей через базу. Влияние напряжения на коллекторе на коэффициент усиления. Транзисторы в схеме усиления сигнала. Приборы с S-образной вольт-амперной характеристикой. Тиристоры. Процессы включения и выключения тиристора. Полевые транзисторы (униполярные транзисторы). Формирование канала проводимости. Управление концентрацией носителей внешним полем (изолированный затвор). Полевые транзисторы с управляющим p-n переходом и барьером Шоттки. Приборы с зарядовой связью. ПЗС – матрица. Перемещение объемного заряда p-n под действием электрических сигналов

1.3. Программа дисциплины реализуется:
на государственном языке Российской Федерации (русский).

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

ДИСЦИПЛИНЫ

Электронные ресурсы (издания)

1. Кристаллография для начинающих. Dept. of Crystallography & Struc. Biol. c/ Serrano 119 E-28006 Madrid (Spain) <http://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/index-en.html>
2. Учебник по кристаллической структуре <http://www.aprendelo.com/rec/crystal-structure-tutorials.html>
3. Symmetry and Space Group Tutorial by Jerry P. Jasinski and Bruce M. Foxman <http://people.brandeis.edu/~foxman1/teaching/indexpr.html>

Печатные издания

1. Павлов П. В. Физика твердого тела : учебник для студентов вузов / П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов — 3-е изд., стер.— Москва : Высшая школа, 2000. — 494 с.
2. Полупроводниковые приборы : учеб. пособие / В.В. Пасынков, Л.К. Чиркин.— Москва : Лань, 2009.— 480 с.
3. Лебедев А.И. Физика полупроводниковых приборов / А. И. Лебедев .— М. : Физматлит, 2008.— 487 с.
4. Питер Ю., М. Кардона. Основы физики полупроводников / Питер Ю, Мануэль Кардона; Пер. с англ. И. И. Решиной под ред. Б. П. Захарчени .— 3-е изд. — М. : Физматлит, 2002.— 560 с.
5. Шаскольская М.П. Кристаллография : учеб. пособие для втузов / М. П. Шаскольская.— 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Высшая школа, 1984.— 375 с.

Профессиональные базы данных, информационно-справочные

1. Institute of Physics (IOP) <http://iopscience.iop.org/>
2. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ <https://www.rfbr.ru/>
3. Официальные сайты международных и российских конференций

Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib2.urfu.ru/rus/>
2. Российская государственная библиотека. URL: <http://www.rsl.ru>
3. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. URL: <http://www.gpntb.ru>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
1	Лекции;	Аудитория для проведения занятий лекционного, семинарского типа,	Microsoft Windows 7 по программе Desktop Education

	<p>Семинарские занятия; Консультации; Самостоятельная работа студентов</p>	<p>текущей и промежуточной аттестации, оснащённая мультимедийным оборудованием</p>	<p>ALNG LicSAPk MVL В Faculty EES. Договор 43-12/1864-2018 от 05.12.2018 Браузер Google Chrome – свободное ПО; Браузер Mozilia Firefox – свободное ПО; MS Office 2007/2010 - лицензия № 42095516, срок действия – б/с</p>
--	------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------