

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
«__» _____

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1159301	Физика и технологии микро- и нанoeлектроники

Екатеринбург

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	Германенко Александр Викторович	доктор физико-математических наук, доцент	Профессор	физики конденсированного состояния и наноразмерных систем
2	Зырянова Наталья Павловна	кандидат физико-математических наук, доцент	Доцент	Департамент фундаментальной и прикладной физики
3	Мурзакаев Айдар Марксович	кандидат физико-математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированного состояния и наноразмерных систем
4	Пилюгин Виталий Прокофьевич	кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник	Доцент	физики конденсированного состояния и наноразмерных систем
5	Шур Владимир Яковлевич	доктор физико-математических наук, профессор	Профессор	физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

Согласовано:

Управление образовательных программ

Е.С. Комарова

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Физика и технологии микро- и нанoeлектроники

1.1. Аннотация содержания модуля

В модуль входят курсы «Доменная структура сегнетоэлектриков», «Физика полупроводников и диэлектриков», «Физика твердого тела и твердотельная электроника», «Физическое материаловедение нанокристаллических структур с различным типом связей», «Эмиссионная электроника и основы работы приборов». Курс «Доменная структура сегнетоэлектриков» посвящен основам физики сегнетоэлектричества и изучению особенностей формирования и динамики доменной структуры в сегнетоэлектриках. 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. Курс «Физика твердого тела и твердотельная электроника» посвящен изучению основных физических явлений в твердых телах; математического аппарата, описывающего процессы, протекающие в твердых телах; практического применения 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. Курс «Физическое материаловедение нанокристаллических структур с различным типом связей» посвящен изучению процессов формирования и свойств субмикро- и наноструктур при интенсивной пластической деформации в материалах с различным типом связи. Дисциплина «Эмиссионная электроника и основы работы приборов» рассматривает поведение электронов в твердом теле, на границе металл-вакуум, виды эмиссии электронов, взаимодействие электронов с твердым телом.

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	3
2	Физика твердого тела и твердотельная электроника	4
3	Физическое материаловедение нанокристаллических структур с различным типом связей	3
4	Эмиссионная электроника и основы работы приборов	3
5	Физика полупроводников и диэлектриков	4
ИТОГО по модулю:		17

1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	Не предусмотрены
---------------------	------------------

Постреквизиты и кореквизиты 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)
1	2	3
Доменная структура сегнетоэлектриков	ОПК-1 - Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания	<p>З-2 - Привести примеры терминологии, принципов, методологических подходов и законов фундаментальных и общетеоретических наук, применимых для формулирования и решения задач проблемной области знания</p> <p>У-2 - Критически оценить возможные способы решения задач проблемной области, используя знания фундаментальных и общетеоретических наук</p> <p>П-1 - Работая в команде, разрабатывать варианты формулирования и решения научно-исследовательских, технических, организационно-экономических и комплексных задач, применяя знания фундаментальных и общетеоретических наук</p>
	ПК-5 - Способен предлагать актуальные методы и подходы решения научных и технологических задач в области наноматериалов, а также смежных областей	<p>З-1 - Описывать основные научные достижения и современные методы экспериментальных и теоретических исследований</p> <p>У-1 - Определять конкретную задачу в рамках научного эксперимента</p> <p>П-1 - Использовать методы решения научно-технологических задач на основе анализа согласованных научных знаний</p>
Физика полупроводников и диэлектриков	ОПК-1 - Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-	<p>З-1 - Соотносить проблемную область с соответствующей областью фундаментальных и общетеоретических наук</p> <p>З-2 - Привести примеры терминологии, принципов, методологических подходов и законов фундаментальных и</p>

	экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания	<p>общеинженерных наук, применимых для формулирования и решения задач проблемной области знания</p> <p>У-2 - Критически оценить возможные способы решения задач проблемной области, используя знания фундаментальных и общеинженерных наук</p>
Физика твердого тела и твердотельная электроника	ОПК-1 - Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания	<p>З-1 - Соотносить проблемную область с соответствующей областью фундаментальных и общеинженерных наук</p> <p>З-2 - Привести примеры терминологии, принципов, методологических подходов и законов фундаментальных и общеинженерных наук, применимых для формулирования и решения задач проблемной области знания</p> <p>У-1 - Использовать для формулирования и решения задач проблемной области терминологию, основные принципы, методологические подходы и законы фундаментальных и общеинженерных наук</p> <p>У-2 - Критически оценить возможные способы решения задач проблемной области, используя знания фундаментальных и общеинженерных наук</p>
Физическое материаловедение нанокристаллических структур с различным типом связей	ОПК-1 - Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания	<p>З-1 - Соотносить проблемную область с соответствующей областью фундаментальных и общеинженерных наук</p> <p>З-2 - Привести примеры терминологии, принципов, методологических подходов и законов фундаментальных и общеинженерных наук, применимых для формулирования и решения задач проблемной области знания</p> <p>У-1 - Использовать для формулирования и решения задач проблемной области терминологию, основные принципы, методологические подходы и законы фундаментальных и общеинженерных наук</p> <p>У-2 - Критически оценить возможные способы решения задач проблемной области, используя знания фундаментальных и общеинженерных наук</p>

		<p>П-1 - Работая в команде, разрабатывать варианты формулирования и решения научно-исследовательских, технических, организационно-экономических и комплексных задач, применяя знания фундаментальных и общеинженерных наук</p> <p>Д-1 - Проявлять лидерские качества и умения командной работы</p>
	<p>ПК-1 - Способен организовывать, планировать и контролировать процессы измерений параметров и свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>З-1 - Демонстрировать понимание физико-химических свойств наноматериалов и наноструктур, устройств, принципов работы и правил эксплуатации оборудования для исследования свойств наноматериалов и наноструктур</p> <p>У-1 - Работать на технологическом оборудовании в соответствии с инструкциями по эксплуатации и технической документацией, получать, анализировать, обобщать данные по измерению свойств и параметров</p> <p>П-1 - Осуществлять планирование эксперимента, ставить и анализировать задачи для оптимизации и совершенствования исследований</p>
	<p>ПК-5 - Способен предлагать актуальные методы и подходы решения научных и технологических задач в области наноматериалов, а также смежных областей</p>	<p>З-1 - Описывать основные научные достижения и современные методы экспериментальных и теоретических исследований</p> <p>У-1 - Определять конкретную задачу в рамках научного эксперимента</p>
<p>Эмиссионная электроника и основы работы приборов</p>	<p>ОПК-1 - Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания</p>	<p>З-1 - Соотносить проблемную область с соответствующей областью фундаментальных и общеинженерных наук</p> <p>З-2 - Привести примеры терминологии, принципов, методологических подходов и законов фундаментальных и общеинженерных наук, применимых для формулирования и решения задач проблемной области знания</p> <p>У-1 - Использовать для формулирования и решения задач проблемной области терминологию, основные принципы,</p>

		<p>методологические подходы и законы фундаментальных и инженерных наук</p> <p>У-2 - Критически оценить возможные способы решения задач проблемной области, используя знания фундаментальных и инженерных наук</p> <p>П-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>Д-1 - Проявлять лидерские качества и умения командной работы</p>
	<p>ОПК-3 - Способен планировать и проводить комплексные исследования и изыскания для решения инженерных задач относящихся к профессиональной деятельности, включая проведение измерений, планирование и постановку экспериментов, интерпретацию полученных результатов</p>	<p>З-2 - Характеризовать возможности исследовательской аппаратуры и методов исследования, используя технические характеристики и области применения</p> <p>У-2 - Обоснованно выбрать необходимую аппаратуру и метод исследования для решения инженерных задач, относящихся к профессиональной деятельности</p> <p>П-1 - Выполнять в рамках поставленного задания экспериментальные комплексные научно-технические исследования и изыскания для решения инженерных задач в области профессиональной деятельности, включая обработку, интерпретацию и оформление результатов</p> <p>Д-1 - Проявлять умение видеть детали, упорство, аналитические умения</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</p>	<p>З-1 - Перечислить основные технические параметры и технологические характеристики эксплуатируемого оборудования и реализуемых технологических процессов</p> <p>У-1 - 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>производственного цикла и продукта</p>	<p>У-3 - Обоснованно корректировать ход эксплуатации технологического оборудования и реализации технологических процессов, добиваясь повышения уровня энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта</p> <p>П-1 - Организовать в соответствии с разработанным утвержденным планом выполнение работ по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности</p>
	<p>ПК-1 - Способен организовывать, планировать и контролировать процессы измерений параметров и свойств наноматериалов и наноструктур</p>	<p>З-1 - Демонстрировать понимание физико-химических свойств наноматериалов и наноструктур, устройств, принципов работы и правил эксплуатации оборудования для исследования свойств наноматериалов и наноструктур</p> <p>У-1 - Работать на технологическом оборудовании в соответствии с инструкциями по эксплуатации и технической документацией, получать, анализировать, обобщать данные по измерению свойств и параметров</p> <p>П-1 - Осуществлять планирование эксперимента, ставить и анализировать задачи для оптимизации и совершенствования исследований</p>
	<p>ПК-5 - Способен предлагать актуальные методы и подходы решения научных и технологических задач в области наноматериалов, а также смежных областей</p>	<p>З-1 - Описывать основные научные достижения и современные методы экспериментальных и теоретических исследований</p> <p>У-1 - Определять конкретную задачу в рамках научного эксперимента</p> <p>П-1 - Использовать методы решения научно-технологических задач на основе анализа согласованных научных знаний</p>

1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

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, профессор	Профессор	физики конденсированног о состояния и наноразмерных систем

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 3 от 17.03.2022 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Шур Владимир Яковлевич, Профессор, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	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.
P2	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.
P3	Процесс экранирования. Кинетика доменов	Механизмы внешнего и объемного экранирования деполяризующих 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.
P4	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.
P5	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.
P6	Фотосегнетоэлектрические явления	Оптические свойства сегнетоэлектриков. Фотовольтаический и фотогальванический эффекты. Фоторефрактивный эффект и оптическое повреждение. Фотодоменный эффект. Генерация второй гармоники – фазовый квазисинхронизм.
P7	Применение сегнетоэлектриков	Доменная инженерия. Преобразование частоты лазерного излучения. Генерация второй гармоники в кристаллах с периодической доменной структурой. Применение сегнетоэлектриков без эффекта переключения.

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Доменная структура сегнетоэлектриков

Электронные ресурсы (издания)

1. Неволин, В. К.; Зондовые нанотехнологии в электронике : монография.; Техносфера, Москва; 2014; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260697> (Электронное издание)
2. Неволин, В. К.; Зондовые нанотехнологии в электронике; Техносфера, Москва; 2014; <http://www.iprbookshop.ru/26894.html> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Голенищев-Кутузов, А. В., Голенищев-Кутузов, В. А., Калимуллин, Р. И.; Индуцированные

доменные структуры в электро- и магнитоупорядоченных веществах; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2003 (2 экз.)

2. Лайнс, М., Леманов, В. В., Смоленский, Г. А.; Сегнетоэлектрики и родственные им материалы; Мир, Москва; 1981 (10 экз.)

3. Фридкин, В. М.; Фотосегнетоэлектрики; Наука, Москва; 1979 (8 экз.)

4. Струков, Б. А.; Физические основы сегнетоэлектрических явлений в кристаллах : Учеб. пособие.; Наука, Москва; 1995 (1 экз.)

5. , Смоленский, Г. А.; Физика сегнетоэлектрических явлений; Наука, Ленинградское отделение, Ленинград; 1985 (2 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Institute of Physics (IOP). <http://iopscience.iop.org/>
2. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ. <https://www.rfbr.ru/>
3. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>
4. Электронная научная библиотека: <https://elibrary.ru>
5. Зональная научная библиотека УрФУ: <http://lib.urfu.ru>
6. 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. Российская государственная библиотека. <http://www.rsl.ru>
2. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. <http://www.gpntb.ru>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Доменная структура сегнетоэлектриков

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
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM

		соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

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	Зайцев Дмитрий Викторович	доктор физико- математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированног о состояния и наноразмерных систем
2	Зырянова Наталья Павловна	кандидат физико- математических наук, доцент	Доцент	Департамент фундаментальной и прикладной физики

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 3 от 17.03.2022 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Зайцев Дмитрий Викторович, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем
- Зырянова Наталья Павловна, Доцент, Департамент фундаментальной и прикладной физики

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	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.
P2	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.

		<p>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.</p> <p>Температурная зависимость теплопроводности. Атомарные и молекулярные криогенные кристаллы. Наведенное диполь-дипольное взаимодействие. Потенциал Леннард-Джонса для атомарных криокристаллов. Уравнение соответственных состояний. Структура и физические свойства атомарных криокристаллов. Классические молекулярные криокристаллы. Потенциал межмолекулярного взаимодействия. Теплоемкость молекулярных криокристаллов. Квантовые кристаллы. Условие устойчивости кристаллического состояния. Параметр де Бура. Квантовая диффузия. Вакансионны. Примесоны.</p>
P3	Электронная структура твердых тел	<p>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.</p>
P4	Кинетические явления в твердых телах	<p>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.</p>
P5	Полупроводниковые диоды	<p>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.</p>
P6	Оптоэлектронные	<p>Механизмы поглощения света в полупроводнике. Фотодиоды, светодиоды. Преобразователи солнечной энергии (солнечные</p>

	приборы	элементы). Механизмы излучательной рекомбинации. Полупроводниковый инжекционный лазер и его принципы работы.
Р7	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 вольтамперной 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. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Физика твердого тела и твердотельная электроника

Электронные ресурсы (издания)

1. Лебедев, А. И.; Физика полупроводниковых приборов : учебное пособие.; Физматлит, Москва; 2008; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68403> (Электронное издание)
2. Батаев, И. А.; Кристаллография: обозначение и вывод классов симметрии : учебное пособие.; Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск; 2018; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=575327> (Электронное издание)
3. Четверикова, А. Г.; Кристаллография : учебное пособие.; Оренбургский государственный университет, Оренбург; 2012; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260745> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Лебедев, А. И.; Физика полупроводниковых приборов; Физматлит, Москва; 2008 (6 экз.)
2. Павлов, П. В., Хохлов, А. Ф.; Физика твердого тела : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению "Физика" и специальностям "Физика и технология материалов и компонентов электронной техники", "Микроэлектроника и полупроводниковые приборы"; Высшая школа, Москва; 2000 (47 экз.)
3. Пасынков, В. В.; Полупроводниковые приборы : учеб. пособие для вузов.; Лань, Санкт-Петербург; 2006 (3 экз.)

4. Ю, П., Захарченя, Б. П., Решина, И. И.; Основы физики полупроводников; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2002 (2 экз.)
5. Шаскольская, М. П.; Кристаллография : Учеб. пособие.; Высшая школа, Москва; 1984 (52 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Institute of Physics (IOP). <http://iopscience.iop.org/>
2. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ. <https://www.rfbr.ru/>
3. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>
4. Электронная научная библиотека: <https://elibrary.ru>
5. Зональная научная библиотека УрФУ: <http://lib.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. Российская государственная библиотека. <http://www.rsl.ru>
2. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. <http://www.gpntb.ru>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Физика твердого тела и твердотельная электроника

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
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM

		соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Физическое материаловедение
нанокристаллических структур с
различным типом связей

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Пилюгин Виталий Прокофьевич	кандидат физико- математических наук, старший научный сотрудник	Доцент	физики конденсированног о состояния и наноразмерных систем

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 3 от 17.03.2022 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Пилюгин Виталий Прокофьевич, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение, основные понятия	Исторический обзор и история возникновения наноматериаловедения и его современные наиболее заметные достижения. Терминология наноматериалов и нанозифики. Классификация наноматериалов по своему химическому составу и структуре. Методы получения наноматериалов: химические, механические, экстремального воздействия и конденсации. Получение и строение кластеров: газовые безлигандные кластеры, коллоидные кластеры, твердотельные нанокластеры и матричные нанокластеры.
P2	Наноматериалы. Структура, методы получения и аттестации наноматериалов	Кластерные кристаллы и фуллериты. Аллотропные модификации углерода. Углеродные наноматериалы: Фуллерены, фуллериты, нанотрубки их классификация, графен. Наноалмазы. Уникальные механические и электрические свойства свойства углеродных наноматериалов. Применение в нанотехнологиях. Методы изучения структуры и аттестации наноматериалов их особенности и возможности: рентгеноструктурный метод, методы сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, электронной микроскопии высокого разрешения, ядерной гамма-резонансной спектроскопии, ядерной магнитной резонансной спектроскопии, электронной парамагнитной резонансной спектроскопии. Объемные нанокристаллические материалы из d-переходных металлов. Субмикроскопические, нанокристаллические и аморфные металлы и сплавы. Методы

		их получения и аттестации структуры. Электрические, магнитные и механические свойства нанокристаллических и аморфных металлов. Связь размеров нанокристаллитов с доминирующим типом межзатомного взаимодействия.
P3	Фазовые переходы, их классификация. Термодинамика фазовых переходов в массивных и нанокристаллических материалах	Основные определения фазовых переходов I и II родов. Движущая сила фазового перехода, сдерживающая сила фазового перехода. Гистерезис фазового перехода. Механизмы фазовых переходов: диффузионный, бездиффузионный, смешанный. Мартенситные фазовые переходы и их кристаллографические особенности. Примеры мартенситных превращений в железе и его сплавах, в сплавах с эффектом памяти формы. Влияние давления на вещество. Международная шкала давлений и абсолютная шкала давлений. Фазовые P-T диаграммы чистых элементов и некоторых простых соединений. Особенности фазовых переходов в нанокристаллических материалах. Гистерезис термических и барических фазовых превращений I и II рода в наноматериалах и механизмы его увеличения.
P4	Строение, структура и дефекты в объёмных и наноструктурных материалах	Структура кристаллических объёмных материалов. Классификация дефектов кристаллического строения: точечные, линейные, двумерные и объёмные дефекты. Модели и реальная микроструктура наноматериалов кластеров, изолированных нанокристаллов, объёмных нанокристаллических материалов и нанокомпозитов. Дефекты и специфика дефектов в наноматериалах. Формулы концентрации структурных дефектов от размеров нанокристаллов: точечных дефектов, дислокаций, междолинитных границ, двойных, тройных и четверных стыков.
P5	Механика наноматериалов, упругие модули и механические характеристики изолированных и объёмных наноматериалов и нанокомпозитов	Соотношение Холла-Петча для физического предела текучести и диапазон его применимости в микро-, субмикро- и наноструктурах. Механизмы деформации, отвечающие за выполнение и исключают выполнение соотношения Холла-Петча. Наноиндентирование как метод измерения упруго-пластических свойств, измерения модуля Юнга и энергомеханических характеристик объёмных наноматериалов. Термическая структурная и фазовая стабильность наноматериалов, поведение при высоких давлениях, способность к прессованию давлением и связь процесса прессования с гомологической температурой материала.
P6	Микро- и наномашиностроение и микросистемная техника	Применяемые и разрабатываемые микромеханические и наномеханические устройства, нанотехнологические процессы самосборки- диспергирования, испарения-и конденсации, растворения –выпадения из растворов, фильтрации, захвата и перемещения с применением квантовых генераторов и давления световых пучков. Примеры применения в медицине, биологии, фармацевтике, связи, микросистемной технике: актуаторы, струнные и мембранные датчики, рентгеновская литография, создание наноразмерных фильтров и наномембран высокоэнергетическими пучками элементарных частиц на ускорителях. Рекордные значения физических, механических

		свойств и служебных характеристик. Примеры веществ с рекордными свойствами и ближайшие перспективы.
Р7	Прогнозы в области нанотехнологий, наномашиностроения и микросистемной техники	Современное применение и совершенствование 3D-принтеров. Аддитивные технологии. Примеры применения в фармацевтике, медицине, протезирование, создание и применение напечатанных на 3D-принтере искусственных органов: почки, сердца, роговицы глаза. Анализ и обзор создания рекордных материалов для получения сверхвысоких по значениям физических параметров и экстремальных условий: температуры, давления, сверхпроводящих материалов, электрических и магнитных полей, плотности записи информации, химической чистоты материалов и совершенства механической объёмной и поверхностной обработок. Метрологические и ГОСТовские стандарты в наноматериаловедении и микросистемной технике.

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Физическое материаловедение нанокристаллических структур с различным типом связей

Электронные ресурсы (издания)

1. Неволин, В. К.; Зондовые нанотехнологии в электронике : монография.; Техносфера, Москва; 2014; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260697> (Электронное издание)
2. Неволин, В. К.; Зондовые нанотехнологии в электронике; Техносфера, Москва; 2014; <http://www.iprbookshop.ru/26894.html> (Электронное издание)
3. , Шустиков, А. А., Ханнинк, Р., Хилл, А.; Наноструктурные материалы : монография.; РИЦ Техносфера, Москва; 2009; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=115678> (Электронное издание)
4. Гусев, А. И.; Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии : монография.; Физматлит, Москва; 2009; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=68859> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Неволин, В. К.; Зондовые нанотехнологии в электронике; Техносфера, Москва; 2005 (5 экз.)
2. Гусев, А. И.; Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2009 (6 экз.)
3. Валиев, Р. З., Александров, И. В.; Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией; Логос, Москва; 2000 (20 экз.)
4. Андриевский, Р. А.; Наноструктурные материалы : учеб. пособие для вузов.; Academia, Москва; 2005 (23 экз.)
5. Уорден, К., Баженов, С. Л.; Новые интеллектуальные материалы и конструкции. Свойства и применение; Техносфера, Москва; 2006 (6 экз.)

6. ; Методы получения и свойства нанобъектов : учебное пособие.; Флинта, Москва; 2009 (5 экз.)
7. Ратнер, М., Назаренко, А. В.; Нанотехнология. Простое объяснение очередной гениальной идеи; [Вильямс], Москва; 2007 (3 экз.)
8. Пул, Ч., Головин, Ю. И., Лучинин, В. В.; Нанотехнологии : учеб. пособие для вузов.; Техносфера, Москва; 2005 (22 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Institute of Physics (IOP). <http://iopscience.iop.org>
2. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ. <https://www.rfbr.ru>
3. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>
4. Электронная научная библиотека: <https://elibrary.ru>
5. Зональная научная библиотека УрФУ: <http://lib.urfu.ru>
6. 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. Российская государственная библиотека. <http://www.rsl.ru>
2. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. <http://www.gpntb.ru>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Физическое материаловедение нанокристаллических структур с различным типом связей

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
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

		Подключение к сети Интернет	
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Эмиссионная электроника и основы работы
приборов

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Мурзакаев Айдар Маркович	кандидат физико- математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированног о состояния и наноразмерных систем

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 3 от 17.03.2022 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Мурзакаев Айдар Марксович, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение	Предмет, цель, задачи и структура курса.
P2	Элементы электронной теории металлов	Уравнение Шредингера. Частица в одномерной прямоугольной потенциальной яме. Прохождение частиц через потенциальный барьер. Туннельный эффект. Атом водорода. Движение электронов в периодическом поле кристалла. Уравнение Шредингера для кристалла. Энергетические зоны в приближении сильной связи. Общие свойства волновой функции электрона в периодическом потенциале. Теорема Блоха. Модель Кронига-Пени. Заполнение энергетических зон электронами. Металлы, полупроводники и диэлектрики. Статистическое описание коллектива частиц. Функция распределения частиц по состояниям. Фермионы и бозоны. Функция распределения Ферми-Дирака. Уровень Ферми. Энергия Ферми. Влияние температуры на распределение Ферми-Дирака. Функция плотности состояний электронов и дырок.
P3	Потенциальный барьер на границе металл-вакуум	Задача об отражении частицы от прямоугольного полубесконечного потенциального барьера. Полная работа выхода электрона. Надбарьерный выход электронов. Подбарьерный выход электронов. Поправка Шоттки. Эффект Шоттки. Коэффициент прохождения частицы через потенциальный барьер или коэффициент прозрачности.

<p>P4</p>	<p>Термоэлектронная эмиссия</p>	<p>Основные особенности ТЭЭ: зависимость термоэмиссионного тока от температуры, работы выхода, внешнего электрического поля. Термодинамический вывод основного уравнения ТЭЭ. Универсальность постоянной Ричардсона. Статистический вывод уравнения ТЭЭ при наличии у поверхности катода внешнего электрического поля. Влияние температурной зависимости работы выхода на термоэмиссионный ток. Средняя энергия термоэлектронов. Экспериментальные методы определения термоэмиссионных констант. Метод определения усредненного коэффициента отражения электронов. Определение работы выхода. Метод полного тока, способы измерения площади поверхности эмиттера и температуры. Метод прямых Ричардсона. Калориметрический метод определения работы выхода. Причины неоднородности поверхности катодов. Адсорбция, ее влияние на физико-химические свойства поверхностей. Локализованная и нелокализованная адсорбция. Миграция адсорбата. Эффективные термокатоде. Основные рабочие параметры. Оксидные катоды, оксидно-ториевые катоды, гексабориды щелочноземельных и редкоземельных металлов.</p>
<p>P5</p>	<p>Автоэлектронная эмиссия</p>	<p>Уравнение Фаулера-Нордгейма для автоэмиссионного тока. Функция Нордгейма. Распределение автоэлектронов по энергиям, полуширина распределения. Эффект Ноттинггама. Экспериментальные исследования автоэлектронной эмиссии. Автоэлектронный микроскоп, методы изготовления острий, увеличение и разрешение прибора. Измерения с отдельных граней острия. Измерение энергетического распределения автоэлектронов. Методы определения работы выхода, констант поверхностной диффузии. Особенности автоэлектронной эмиссии с полупроводников. Вольтамперная характеристика, зависимость от температуры и освещения катода. Разогрев электронного газа, горячие электроны. Ударная ионизация, межзонное туннелирование.</p> <p>Практическое использование автоэлектронной эмиссии. Методы исследований поверхностных явлений. Применение автокатодов в технике, их преимущества и недостатки. Причины нестабильности рабочих характеристик в техническом вакууме: адсорбция, ионная бомбардировка.</p> <p>Автоионный микроскоп. Принципы его работы, разрешающая способность.</p> <p>Сканирующая туннельная микроскопия, ее возможности. Эффективный потенциальный барьер для электронов между острием и образцом. Зависимость туннельного тока от расстояния между острием и образцом. Особенности конструкции сканирующего туннельного микроскопа: пьезодвигатели, защита от вибраций, изготовление острий. Зависимость туннельного тока от плотности электронных состояний. Сканирующая туннельная спектроскопия. Определение эффективной высоты потенциального барьера.</p>
<p>P6</p>	<p>Фотоэлектронная эмиссия</p>	<p>Основные закономерности внешнего фотоэффекта. Красная граница ФЭЭ. Уравнение Эйнштейна. Чувствительность и</p>

		<p>интегральная чувствительность. Квантовый выход ФЭЭ. Селективный внешний фотоэффект: размерный, векториальный (поляризационный). Особенности ФЭЭ с полупроводников. Фотоэлектрическая работа выхода. Глубина выхода фотоэлектронов. Влияние загиба зон на поверхности. Влияние дополнительной подсветки. Отрицательное сродство. Особенности энергетического распределения фотоэлектронов.</p> <p>ФЭЭ со щелочно-галогидных соединений. Центры окраски. Экситоны.</p> <p>Фотоэлектронная спектроскопия. Вольтамперная характеристика, измерение фотоэлектрической работы выхода, величины загиба зон на поверхности. Определение распределения по энергиям заполненных и свободных состояний для электронов. Фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением, экспериментальное определение дисперсионных зависимостей $E(k)$. Электронная спектроскопия для химического анализа. Химический сдвиг внутренних уровней.</p> <p>Эффективные фотокатоды. Основные параметры фотоэлементов. Кислородно – серебряно - цезиевый фотокатод.</p>
<p>P7</p>	<p>Вторичная электронная эмиссия</p>	<p>Первичные и вторичные электроны. Коэффициент ВЭЭ, его зависимость от энергии первичных электронов E_p. Закон подобия в случае металлов. Длина свободного пробега электронов, ее зависимость от энергии электронов. Особенности зависимости $s(E_p)$ в случае диэлектриков. Угловая зависимость коэффициента ВЭЭ.</p> <p>Энергетическое распределение вторичных электронов по энергиям, три основные группы вторичных электронов.</p> <p>Упруго отраженные электроны. Зависимость коэффициента упругого отражения от энергии первичных электронов. Угловое распределение упруго отраженных электронов, дифракция медленных электронов (ДМЭ), дифракция быстрых электронов (ДБЭ).</p> <p>Неупруго отраженные электроны. Общие закономерности поведения коэффициента неупругого отражения электронов. Плазмоны: объемные и поверхностные. Спектроскопия потерь энергии медленных электронов. Спектроскопия характеристических потерь энергии. Оже электронная спектроскопия.</p> <p>Истинно вторичные электроны. Зависимость коэффициента истинно вторичной эмиссии от энергии первичных электронов, угла падения первичного пучка, угла выхода вторичных электронов.</p> <p>Эффективные эмиттеры вторичных электронов. Вторично электронные умножители, фотоэлектронные умножители, электронно-оптические преобразователи. Коэффициент усиления, шумы.</p>

P8	Другие виды электронной и ионной эмиссии	Общая классификация явлений эмиссии. Кинетическая ионно-электронная эмиссия. Экзоэлектронная эмиссия. Потенциальная ионно-электронная эмиссия (потенциальное вырывание). Эмиссия горячих электронов Комбинированные виды эмиссии.
P9	Токи, ограниченные пространственным зарядом	Закон «трех вторых». Общая схема расчета самосогласованных полей и объемных зарядов. Плоскопараллельная электродная система. Цилиндрическая электродная система. Сферическая электродная система. Влияние пространственного заряда на автоэлектронную эмиссию.
P10	Взрывная электронная эмиссия (ВЭЭ)	Феноменология ВЭЭ. Импульсный пробой при острейшем катоде. Импульсный пробой при плоских электродах. Пробой постоянным напряжением. Джоулев механизм вакуумного пробоя. Вольт-амперная характеристика искрового разряда.
P11	Электронная оптика (электростатические линзы)	Сила, действующая на заряженную частицу. Уравнения движения. Аналогия между движением заряженных частиц в электростатическом поле и распространением световых лучей в прозрачной среде. Центрированные электронно-оптические системы. Основное уравнение электронной оптики для аксиально-симметричных полей. Фокусировка в аксиально-симметричном поле. Уравнение Гельмгольца - Лагранжа. Тонкая линза. О приближенных методах в электронной оптике. Некоторые электронные приборы с электростатическими полями. Усилитель света (электронно-оптический преобразователь). Электронный умножитель. Электронный осциллограф.
P12	Электронная оптика (магнитные линзы)	Движение в однородном магнитном поле. Аксиально-симметричное магнитное поле. Фокусировка с помощью короткой катушки. Электронный микроскоп. Движение в медленно изменяющемся магнитном поле. Адиабатический инвариант. Радиационные пояса Земли. Фокусировка в поперечных электрических и магнитных полях. Сильная фокусировка. Движение заряженных частиц под действием однородного электрического поля и однородного магнитного поля. Спектрометры.
P13	Взаимодействие электронов с веществом	Динамика взаимодействия. Поляризационные эффекты. Эффекты, наблюдаемые при взаимодействии электронов с веществом: упругое и неупругое рассеяние, возбуждение фононов, радиационный захват, захват на дефекты, прямые и не прямые межзонные переходы, возбуждение электронно дырочных пар, наведенная проводимость, дифракция низкоэнергетических электронов, возбуждение и ионизация атомных остовов, тормозное и характеристическое рентгеновское излучение, вторичная электронная эмиссия, Оже-электронная эмиссия, характеристические потери энергии электронов, электронно-ионная эмиссия, электронно-атомная эмиссия, образование и исчезновение дефектов, дифракция быстрых электронов, упругое смещение атомов электронным ударом, каналирование электронов в кристаллах.

<p>P14</p>	<p>Взаимодействие ионов и атомов с веществом</p>	<p>Виды ионно-электронной эмиссии (ИЭЭ). Коэффициент ИЭЭ, его зависимость от энергии и сорта первичных ионов. Потенциальная ионно-электронная эмиссия, ее главные особенности. Механизм Олифанта-Муна, механизм Шехтера. Кинетическая ионно-электронная эмиссия, ее основные особенности. Возможные объяснения кинетической ИЭЭ: термическая модель Капицы, модель "стряхивания" Френкеля, радиационная модель, деформационная модель.</p> <p>Рассеяние ионов. Модель парного столкновения. Распределение рассеянных ионов по энергиям. Эффект затенения.</p> <p>Катодное распыление. Основные особенности. Угловое распределение слетающих частиц. Явление каналирования. Импульсная теория.</p> <p>Вторичная ионно-ионная эмиссия. Вторично-ионная масс-спектрометрия (ВИМС). Зависимость коэффициента вторичной эмиссии ионов от матрицы.</p> <p>Количественные характеристики упругого и неупругого взаимодействия. Механизмы взаимодействия: адсорбция, химическое травление, резонансная перезарядка, возбуждение фононов, ионно-электронная эмиссия, ионно-атомная эмиссия, десорбция, образование дефектов, внедрение ионов (ионное легирование), каналирование ионов.</p>
<p>P15</p>	<p>Взаимодействие фотонов с веществом</p>	<p>Уравнения Максвелла. Оптические константы. Диэлектрическая проницаемость и ее зависимость от частоты, напряженности электрического поля и температуры. Основные модели электрической поляризации: электронно-деформационная, ионно-деформационная, дипольная. Механизмы поглощения фотонов в кристаллах: возбуждение фононов, эксионных, экситонных, фононных и плазменных поляритонов, полосы остаточных лучей, многофононное поглощение, фотоионизация примесных центров, межзонные переходы, взаимодействие со свободными носителями, возбуждение плазмонов, фотоионизация глубоких атомных уровней.</p> <p>Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Возникновение плазмы. Образование и отжиг дефектов в приповерхностной области кристаллов. Взаимодействие фотонов с электронной и атомной подсистемами твердого тела. Основные физические явления в твердых телах при воздействии фононов: нагрев, фотохромный эффект (изменение коэффициента поглощения на примесях), фоторефракция, фотопамять (изменение показателя преломления вследствие возникновения локальных помех на примесях), изменение двойного лучепреломления при высоких интенсивностях, оптическая активность (поворот плоскости поляризации), фотогирация (поворот при одновременном действии фотонов и электрического поля), фотополяризация, фотоэдс Дембера и барьерная, вторичное излучение</p>

		(комбинационное, люминесценция, фосфоресценция), фотоакустический эффект.
--	--	---

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Эмиссионная электроника и основы работы приборов

Электронные ресурсы (издания)

1. Уваров, Н. Ф.; Химия твердого тела : учебное пособие.; Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск; 2019; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=575292> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Фистуль, В. И.; Физика и химия твердого тела : Учебник для вузов: В 2 т. Т. 1. ; Металлургия, Москва; 1995 (10 экз.)
2. Литвинов, Е. А., Уйманов, И. В., Чолах, С. О., Сюткин, Н. Н.; Эмиссионная электроника : учебное пособие.; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2007 (21 экз.)
3. Модинос, А., Фурсей, Н. Г., Баскин, Л. М.; Авто-, термо- и вторично-электронная эмиссионная спектроскопия; Наука, Москва; 1990 (2 экз.)
4. Вудраф, Д.; Современные методы исследования поверхности; Мир, Москва; 1989 (5 экз.)
5. Шимони, К., Раховский, В. И., Сурский, Ю. Н., Фонштейн, Н. М.; Физическая электроника; Энергия, Москва; 1977 (5 экз.)
6. Месяц, Г. А.; Эктонны в вакуумном разряде: пробой, искра, дуга; Наука, Москва; 2000 (8 экз.)
7. Владимиров, Г. Г.; Физическая электроника. Эмиссия и взаимодействие частиц с твердым телом : учебное пособие.; Лань, Санкт-Петербург [и др.]; 2013 (3 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Institute of Physics (IOP). <http://iopscience.iop.org>
2. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ. <https://www.rfbr.ru>
3. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>
4. Электронная научная библиотека: <https://elibrary.ru>
5. Зональная научная библиотека УрФУ: <http://lib.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. Российская государственная библиотека. <http://www.rsl.ru>
2. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. <http://www.gpntb.ru>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Эмиссионная электроника и основы работы приборов

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
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется

4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

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	физики конденсированног о состояния и наноразмерных систем

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 3 от 17.03.2022 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Германенко Александр Викторович, Профессор, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
 - Базовый уровень

**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.

1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	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.
P2	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.
P3	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.
P4	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.
P5	Явления переноса	Явления электронного переноса. Электропроводность. Подвижность. Транспортное время релаксации импульса. Закон Ома в анизотропных полупроводниках. “Дрейфовая” эффективная масса. Эффект Холла (один тип носителей,двигающихся 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. Зависимость коэффициента Холла от магнитного поля и температуры.
P6	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.
P7	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 Гааза. Магнитофонный резонанс (МФР). Определение эффективной массы из МФР. Межзонное и примесное магнитное вымораживание носителей. Циклотронный резонанс (классическое рассмотрение).
--	--	---

1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Физика полупроводников и диэлектриков

Электронные ресурсы (издания)

1. Бонч-Бруевич, В. Л.; Физика полупроводников; Наука, Москва; 1977; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483346> (Электронное издание)
2. Ансельм, А. И.; Введение в теорию полупроводников : монография.; Государственное издательство физико-математической литературы, Москва, Ленинград; 1962; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=479539> (Электронное издание)
3. Киттель, Ч., Ч.; Введение в физику твердого тела; Наука, Москва; 1978; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483361> (Электронное издание)

Печатные издания

1. Бонч-Бруевич, В. Л.; Физика полупроводников; Наука, Москва; 1990 (18 экз.)
2. Ансельм, А. И., Алферов, Ж. И.; Введение в теорию полупроводников : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по физ. и техн. специальностям.; Лань, Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар; 2008 (11 экз.)
3. Киттель, Ч., Гусев, А. А., Пахнев, А. В.; Введение в физику твердого тела; Наука, Москва; 1978 (53 экз.)
4. Шалимова, К. В.; Физика полупроводников : учебник [для студентов физ. и техн. специальностей].; Лань, Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар; 2010 (2 экз.)
5. Ю, П., Захарченя, Б. П., Решина, И. И.; Основы физики полупроводников; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2002 (2 экз.)
6. Имри, Имри Й., Булгадаев, С. А., Иоселевич, А. С., Лебедев, А. В., Щелкачев, Н. М.; Введение в мезоскопическую физику; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2004 (2 экз.)

Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Institute of Physics (IOP). <http://iopscience.iop.org/>
2. Российский фонд фундаментальных исследований РФФИ. <https://www.rfbr.ru/>
3. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>

4. Электронная научная библиотека: <https://elibrary.ru>
 5. Зональная научная библиотека УрФУ: <http://lib.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. Российская государственная библиотека. <http://www.rsl.ru>
 2. Государственная публичная научно-техническая библиотека России. <http://www.gpntb.ru>

3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Физика полупроводников и диэлектриков

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
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в	Не требуется

		соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES