

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Беспалов Владимир Александрович

Должность: Ректор МИЭТ

Дата подписания: 01.09.2023 15:40:16

Уникальный программный ключ:

ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f7366746c85a821b8a002

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

И.Г. Игнатова

« 2 » сентября 2020 г.

М.П.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Физика и химия полупроводников»

Направление подготовки – 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Направленность (профиль) – «Технологии материалов и наноструктур»

Москва 2020

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующей компетенции образовательной программы:

Компетенция ПК-3 «Способен прогнозировать влияние микро- и нано- масштаба на механические, физические, химические и другие свойства веществ и материалов» **сформулирована на основе профессионального стандарта 40.104** «Специалист по измерению параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур».

Обобщенная трудовая функция 40.104 С [6] Совершенствование процессов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур.

Трудовая функция 40.104 С/01.6 Модернизация существующих и внедрение новых методов и оборудования для измерений параметров наноматериалов и наноструктур.

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-3.ФХПП Способен применять фундаментальные математические и естественно-научные знания при анализе электрофизических характеристик полупроводников.	Совершенствование процессов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур.	Знание: статистики носителей заряда полупроводников, а также методов ее применения для оценки свойств полупроводников. Умение: обоснованно выбирать и методы измерения и расчета электрофизических характеристик полупроводников. Опыт деятельности: прогнозирования вклада поверхностных свойств в свойства дисперсных систем и учета этого вклада в технологии изготовления полупроводников.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Входные требования к дисциплине

Изучению модуля предшествует формирование компетенций в дисциплинах «Физика», «Химия», «Физическая химия», «Кристаллография», «Материалы электронной техники», «Методы исследования наноматериалов и структур».

Формируемые в процессе изучения модуля компетенции в дальнейшем углубляются выполнением индивидуальных заданий практики и служат основой для выполнения выпускной квалификационной работы (ВКР).

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
4	8	5	180	30	10	30	74	Экз (36)

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
1. Предмет курса. Общие представления о полупроводниках и основные определения.	2	2	2	8	Тестирование Защита лабораторной работы
2. Особенности характера химической связи и кристаллической структуры Si и Ge.	6	2	4	16	Тестирование Защита лабораторной работы
3. Статистика носителей заряда в собственных полупроводниках.	12	2	14	30	Тестирование Защита лабораторной работы

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
4. Состояние атомов легирующих элементов в решетке германия и кремния. Мелкие акцепторы и доноры.	10	4	10	20	Тестирование Защита индивидуального задания

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Предмет курса. Общие представления о полупроводниках и основные определения.
2	2	2	Строение изолированных атомов и структура энергетических уровней в изолированных атомах Si и Ge.
	3	2	Структура материалов. Дальний и ближний порядок. Кристаллы.
	4	2	Химическая связь в кристаллах Si и Ge. sp^3 -гибридизация. Строение кристаллической решетки Si и Ge.
3	5	2	Уравнение Шредингера для кристаллов. Приближения, необходимые для решения уравнения Шредингера. Решение уравнения Шредингера.
	6	2	Понятие об эффективной массе. Анализ решения уравнения Шредингера.
	7	2	Структура энергетических зон в Si и Ge. Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Температурная зависимость ширины запрещенной зоны.
	8	4	Плотность состояний и энергия Ферми свободного электронного газа. Функция распределения Ферми-Дирака и ее свойства. Критерий вырождения. Концентрация электронов и дырок в разрешенных зонах полупроводников.
	9	2	Уровень Ферми в собственном полупроводнике. Закон действующих масс для носителей заряда в полупроводнике. Термодинамическая трактовка уровня Ферми.

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
4	10	4	Примеси в полупроводниках. Энергия ионизации примесей. Рекомбинационные ловушки и центры захвата. Водородоподобное приближение и метод эффективных масс при определении энергии мелких примесных уровней. Критерий образования примесной зоны.
	11	2	Уравнение электронейтральности для легированного полупроводника. Фактор вырождения примесных состояний. Степень заполнения примесных уровней.
	12	4	Температурные зависимости положения уровня Ферми и концентрации электронов в донорном полупроводнике. Температурная область истощения примесных уровней.

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	2	Полупроводниковое состояние вещества.
2	2	2	Строение изолированных атомов и структура энергетических уровней в изолированных атомах Si и Ge.
	3	2	Химическая связь в кристаллах Si и Ge. sp^3 -гибридизация. Строение кристаллической решетки Si и Ge.
3	4	2	Решение уравнения Шредингера.
	5	2	Структура энергетических зон в Si и Ge. Прямозонные и непрямозонные полупроводники.
	6	2	Некристаллические полупроводники. Атомная структура и модели структуры энергетических зон. Механизмы переноса носителей заряда в a-Si:H.
	7	4	Определение плотности электронных состояний в некристаллических полупроводниках. Уровень Ферми в полупроводниках. Статистика электронов в полупроводниках.
	8	4	Уравнение электронейтральности. Определение распределения электронов и дырок по примесным состояниям. Температурные зависимости уровня Ферми и концентрации носителей в легированных полупроводниках.
4	9	2	Сложнолегированные полупроводники. Определение положения уровня Ферми в сложнолегированных полупроводниках.

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
	10	4	Квазихимический подход к процессу ионизации доноров и акцепторов в полупроводнике. Сложное легирование. Электронно-дырочное взаимодействие. Равновесие дефектов в полупроводниковом кристалле.
	11	2	Комплексообразование в решетке элементарного полупроводника.
	12	2	Модель образования электронейтрального комплекса.

4.3. Лабораторные работы

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
1	1	4	Исследование структурно-релаксационных процессов в тонких пленках некристаллических полупроводников с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии.
2	2	2	Исследование термоЭДС тонкопленочных материалов.
3	3	4	Исследование термических свойств материалов, применяемых для создания ячеек фазовой памяти.

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1-4	28	Изучение теоретического материала в объеме лекций
1-4	20	Подготовка к лабораторной работе
1-4	8	Подготовка к тестированию по модулям
1-4	18	Выполнение индивидуального задания по анализу процессов измерений параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур.

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>):

Модуль 1 «Предмет курса. Общие представления о полупроводниках и основные определения»

- ✓ Изучение теоретического материала в объеме лекций, подготовка к практическим занятиям, подготовка к лабораторным работам, подготовка к опросам по модулям осуществляется с помощью лекций к модулю №1, материалов для самостоятельной работы студентов.

Модуль 2 «Особенности характера химической связи и кристаллической структуры Si и Ge.»

- ✓ Изучение теоретического материала в объеме лекций, подготовка к практическим занятиям, подготовка к опросам по модулям осуществляется с помощью лекций к модулю №2, лабораторного практикума, материалов для самостоятельной работы студентов.

Модуль 3 «Статистика носителей заряда в собственных полупроводниках»

- ✓ Изучение теоретического материала в объеме лекций, подготовка к практическим занятиям, подготовка к лабораторным работам, подготовка к опросам по модулям осуществляется с помощью лекций к модулю №3, лабораторного практикума, материалов для самостоятельной работы студентов.

Модуль 4 «Состояние атомов легирующих элементов в решетке германия и кремния. Мелкие акцепторы и доноры»

- ✓ Изучение теоретического материала в объеме лекций, подготовка к практическим занятиям, подготовка к опросам по модулям осуществляется с помощью лекций к модулю №4, лабораторного практикума, материалов для самостоятельной работы студентов.

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Физика полупроводников : Учебник / К.В. Шалимова. - 4-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2010. - 400 с.
2. Основы полупроводниковой электроники : Учеб. пособие / Н.В. Бурбаева, Т.С. Днепровская. - М. : Физматлит, 2012. - 312 с.
3. Физика полупроводников : Учеб. пособие / Ю.А. Парменов; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - 2-е изд., доп. и испр. - М. : МИЭТ, 2017. - 136 с.
4. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : Учеб. пособие / В.И. Старосельский; Национальный исследовательский университет "МИЭТ"; [Под ред. Ю.А. Парменова]. - М. : Юрайт, 2019. - 463 с.
5. Материалы электронной техники : Лабораторный практикум: В 2-х ч. Ч. 1 / Б.Г. Будагян, А.А. Шерченков. - М. : МИЭТ, 2001. - 56 с.

6. Материалы электронной техники : Лабораторный практикум: В 3-х ч. Ч. 3 / А.А. Шерченков, Ю.И. Штерн. - М. : МИЭТ, 2004. - 88 с.
7. Материаловедение полупроводников и диэлектриков / С.С. Горелик, М.Я. Дашевский. - М. : Металлургия, 1988. - 574 с.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. **eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека:** сайт. – Москва, 2000. – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 11.09.2020). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
2. **Электронные ресурсы Российской государственной библиотеки:** сайт. – Москва, 1999-2020. – URL: <http://www.rsl.ru> (дата обращения: 10.09.2020).
3. **Бесплатная поисковая система «GoogleScholar»:** сайт. – США, 2004: – URL: <https://scholar.google.ru>. – (дата обращения: 10.09.2020). – Режим доступа: свободный.
4. **База American Chemical Society (ACS):** Некоммерческое научное издательство. – [Американское химическое общество, 2020](#). – URL: <http://pubs.acs.org> (дата обращения: 11.09.2020). – Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.
5. **Электронная версия базы данных ECS издательства Electrochemical Society:** Научное издательство IOP Publishing, 2020. – URL: <https://iopscience.iop.org/partner/ecs> (дата обращения: 29.09.2020). - Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ
6. **Издательство Springer:** сайт. – URL: <http://link.springer.com> (дата обращения: 29.09.2020). - Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.
7. **SCOPUS: Библиографическая и реферативная база данных научной периодики:** сайт. – URL: www.scopus.com/ (дата обращения: 20.09.2020). - Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.
8. **Научометрическая база данных Web of Science:** Сайт. – Компания Clarivate, 2020. – URL: <http://apps.webofknowledge.com> (дата обращения: 29.09.2020). - Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации обучения используется **смешанное обучение** (основано на интеграции технологий традиционного и электронного обучения, замещении части традиционных учебных форм занятий формами и видами взаимодействия в электронной образовательной среде).

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС (<http://orioks.miet.ru>).

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: раздел ОРИОКС «Домашние задания», электронная почта.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория № 4136 «Лаборатория микроскопии»	Компьютер, проекционная установка VIEWSONIC PRO-8500.	ОС Microsoft Windows, MS Office
Учебная аудитория № 4338б «Лаборатория неупорядоченных полупроводниковых пленок»	Лабораторный комплекс по измерению электрофизических параметров полупроводниковых материалов и тонкопленочных структур Лабораторный комплекс по измерению термоэлектрических параметров полупроводниковых материалов и тонкопленочных структур Дифференциальный сканирующий калориметр DSC-50 Компьютеры, принтеры	ОС Microsoft Windows, MS Office, MatLab
Помещение для самостоятельной работы обучающихся	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в ОРИОКС	ОС Microsoft Windows, MS Office, Браузер

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

1. ФОС по подкомпетенции ПК-3.ФХПП «Способен применять фундаментальные математические и естественно-научные знания при анализе электрофизических характеристик полупроводников».

Фонд оценочных средств представлен отдельным документом и размещен в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

11.1. Особенности организации процесса обучения

Дисциплина «Физика и химия полупроводников» состоит из четырех модулей. Модуль 1 дает студентам общие представления о полупроводниках, модуль 2 дает студентам сведения об особенностях характера химической связи и кристаллической структуры Si и Ge. В модуле 3 рассматривается статистика носителей заряда в собственных полупроводниках, в модуле 4 представлены сведения о состоянии атомов легирующих элементов в решетке германия и кремния.

Студенты должны осуществлять поиск дополнительной информации по темам практических занятий в научных источниках с последующим обсуждением результатов поиска с преподавателем и одногруппниками.

Приступать к лабораторным работам необходимо после изучения теоретического материала, рекомендованного преподавателем в рамках самостоятельной работы и изучения описания соответствующей лабораторной работы. Студенты получают допуск к лабораторной работе после ознакомления с описанием лабораторной работы. Для получения допуска необходимо правильно ответить на контрольные вопросы к теоретической части, приведенные в конце описания лабораторной работы.

Выполнение индивидуального задания на СРС предполагает формирование у обучающихся подкомпетенций по индикаторам умений и приобретения опыта деятельности. Оно включает в себя изучение современных методов для исследований основных параметров функциональных материалов, используемых в энергосберегающих системах.

Контроль выполнения студентами индивидуального задания проводится на семинарах. Студенты выступают с докладом на семинаре, излагая содержание проделанной работы, анализируя различные аспекты освещаемой проблемы, происходит обсуждение информации в формате научной дискуссии.

Подготовкой материалов для итоговой аттестации необходимо начать заниматься с первых дней семестра, не устранившись от активного участия в активных видах занятий.

Студентам рекомендуется активно посещать предусмотренные расписанием консультации с преподавателем.

11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система,

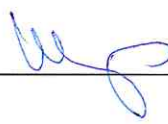
Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре и промежуточный контроль (в сумме - 100 баллов).

Структура и график контрольных мероприятий приведены в журнале успеваемости на ОРИОКС (<http://orioks.miet.ru/>).

При выставлении итоговой оценки используется шкала, приведенная в таблице:

Сумма баллов	Оценка
Менее 50	2
50 – 69	3
70 – 85	4
86 – 100	5

РАЗРАБОТЧИКИ:

Профессор Института ПМТ, д.т.н., профессор  /А.А.Шерченков /

Рабочая программа дисциплины «Физика и химия полупроводников» по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов», направленности (профилю) «Технологии материалов и наноструктур» разработана в Институте перспективных материалов и технологий и утверждена на заседании Ученого совета Института ПМТ 30 сентября 2020 года, протокол № 39.

Зам. директора Института
к.т.н., доцент

 /А.В. Железнякова/

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК

 /И.М. Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

/ Директор библиотеки

 /Т.П. Филиппова/