

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Гаврилов Сергей Александрович
Должность: И.О. Ректора
Дата подписания: 01.07.2025 11:02:40
Уникальный программный ключ:
f17218015d82e3c1457d1df9e244def505047355

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

А.Г. Балашов

«10» июля 2024 г.

М.П.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Физика и химия полупроводников»

Направление подготовки - 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Направленность (профиль) - «Технологии материалов микроэлектроники»

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

Формируемые в процессе изучения дисциплины 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	4	144	24	12	24	84	ЗаО

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
4. Состояние атомов легирующих элементов в решетке германия и кремния. Мелкие акцепторы и доноры.	10	4	10	24	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	2	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.
4	10	2	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	2	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	2	Определение плотности электронных состояний в некристаллических полупроводниках. Уровень Ферми в полупроводниках. Статистика электронов в полупроводниках.
	8	2	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.
	10	2	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	4	Исследование термоЭДС тонкопленочных материалов.

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
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	22	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. Шалимова К.В. Физика полупроводников : Учебник / К.В. Шалимова. - 4-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2010. - 400 с.
2. Бурбаева Н.В. Основы полупроводниковой электроники : Учеб. пособие / Н.В. Бурбаева, Т.С. Днепровская. - М. : Физматлит, 2012. - 312 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/5261> (дата обращения: 17.12.2020). - ISBN 978-5-9221-1379-3.
3. Парменов Ю.А. 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. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : Учеб. пособие / В.И. Старосельский; Национальный исследовательский университет "МИЭТ"; [Под ред. Ю.А. Парменова]. - М. : Юрайт, 2019. - 463 с. - (Бакалавр. Академический курс). - URL: <https://urait.ru/bcode/425163> (дата обращения: 30.11.2024). - ISBN 978-5-9916-0808-4, 978-5-9692-0962-6
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. Горелик С.С. Материаловедение полупроводников и диэлектриков / С.С. Горелик, М.Я. Дашевский. - М. : Металлургия, 1988. - 574 с.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХБАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. **eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека:** сайт. – Москва, 2000. – URL: <https://elibrary.ru>(дата обращения: 11.11.2024). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
2. **Российская государственная библиотека:** сайт. – Москва, 1999-2020. – URL: <http://www.rsl.ru>(дата обращения: 10.11.2024).
3. **GoogleScholar:** сайт. – США, 2004 - . -URL<https://scholar.google.ru>. – (дата обращения: 10.11.2024). – Режим доступа: свободный.

4. **База AmericanChemicalSociety (ACS):** Некоммерческое научное издательство. – Американское химическое общество, 2020. – URL: <http://pubs.acs.org> (дата обращения: 11.11.2024). – Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.

5. **Electrochemical Society:** Научное издательство IOP Publishing, 2020. – URL: <https://iopscience.iop.org/partner/ecs> (дата обращения: 29.11.2024). - Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ

6. **Springer:** сайт. – URL: <http://link.springer.com> (дата обращения: 29.11.2024). - Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.

7. **SCOPUS: Библиографическая и реферативная база данных научной периодики:** сайт. – URL: www.scopus.com/ (дата обращения: 20.11.2024). - Режим доступа: для авторизованных пользователей МИЭТ.

8. **Научометрическая база данных WebofScience:** Сайт. – Компания Clarivate, 2020. – URL: <http://apps.webofknowledge.com> (дата обращения: 29.11.2024). - 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 № 43386 «Лаборатория неупорядоченных полупроводников»	Компьютеры с ПО и возможностью подключения к сети Интернет	ОС Microsoft Windows, MS Office, MatLab

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Помещение для самостоятельной работы обучающихся	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	ОС Microsoft Windows, MS Office, Браузер

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

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 промежуточной 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,

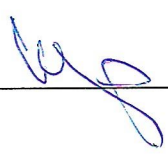
Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре и промежуточный контроль (в сумме - 100 баллов).

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 микроэлектроники» разработана в Институте перспективных материалов и технологий и утверждена на заседании Ученого совета Института ПМТ 19 декабря 2024 года, протокол № 16

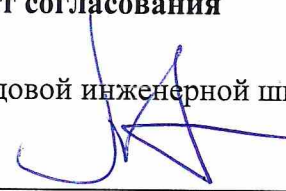
Директор Института ПМТ

 /С.В.Дубков/

Лист согласования

Рабочая программа согласована с Передовой инженерной школой

Директор ПИШ

 /А.Л.Переверзев /

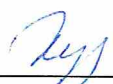
Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК

 /И.М.Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

/ Директор библиотеки

 /Т.П.Филиппова /