

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Микроэлектроника и твердотельная электроника

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.01.07
Трудоемкость в зачетных единицах:	6 семестр - 5;
Часов (всего) по учебному плану:	180 часов
Лекции	6 семестр - 14 часов;
Практические занятия	6 семестр - 28 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	6 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	6 семестр - 135,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Тестирование Контрольная работа Расчетно-графическая работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	6 семестр - 0,5 часа;

Москва 2024

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Сарач О.Б.
	Идентификатор	R2562e7bf-SarachOB-f26c228a

О.Б. Сарач

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Баринов А.Д.
	Идентификатор	Ra98e1318-BarinovAD-f138ec4f

А.Д. Баринов

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Зезин Д.А.
	Идентификатор	Re7522a00-ZezinDA-ba8dbd73

Д.А. Зезин

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: освоение фундаментальных знаний в области физико-химических процессов материалов электронной техники и их применение для решения практических задач получения полупроводников

Задачи дисциплины

- развитие способности учитывать физико-химические свойства полупроводниковых материалов и структур на их основе, применяемых в приборах и устройствах электроники и нанoeлектроники, современные тенденции развития электроники;
- развитие способности аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик полупроводниковых материалов.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен участвовать в проектировании интегральных схем	ИД-2 _{ПК-1} Демонстрирует знание соответствия технологии производства и процесса проектирования интегральных схем	знать: - физико-химические процессы изготовления интегральных схем. уметь: - разрабатывать технологический маршрут изготовления интегральных схем.
ПК-2 Способен осуществлять расчет и проектирование полупроводниковых приборов и устройств, проводить моделирование и анализ с использованием средств автоматизации проектирования	ИД-2 _{ПК-2} Демонстрирует знание соответствия технологии производства и процесса проектирования полупроводниковых приборов и структур	знать: - классификацию дефектов в полупроводниковых кристаллах и фазах переменного состава. уметь: - оценивать целесообразность использования различных полупроводниковых материалов в конкретных устройствах.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Микроэлектроника и твердотельная электроника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основные технологические операции, используемые при производстве электронной компонентной базы
- уметь рассчитывать основные параметры технологических операций, используемых при производстве интегральных схем

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Введение. Материаловедение полупроводников. Высокочистые вещества	36	6	4	-	8	-	-	-	-	-	24	-	<p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Введение" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Введение и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Введение"</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Введение"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 7-24, 321-351 [6], 497-518 [7], 170-196</p>
1.1	Материаловедение полупроводников	18		2	-	4	-	-	-	-	-	12	-	
1.2	Высокочистые вещества	18		2	-	4	-	-	-	-	-	12	-	
2	Основы теории кристаллизации	18		2	-	4	-	-	-	-	-	12	-	
2.1	Основы теории кристаллизации	18		2	-	4	-	-	-	-	-	12	-	

													<p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Основы теории кристаллизации и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Основы теории кристаллизации"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 25-38, 55-72 [2], стр. 3-10 [5], 391-424</p>
3	Растворимость в бинарных системах	18	2	-	4	-	-	-	-	-	12	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Растворимость в бинарных системах"</p>
3.1	Растворимость в бинарных системах	18	2	-	4	-	-	-	-	-	12	-	<p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Растворимость в бинарных системах" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Растворимость в бинарных системах и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Растворимость в бинарных системах"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 43-54, 171-201 [6], 119-127</p>
4	Дефектообразование в кристаллах полупроводников. Взаимодействие дефектов. Протяжённые неоднородности	72	6	-	12	-	-	-	-	-	54	-	<p><u>Подготовка расчетных заданий:</u> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Дефектообразование в кристаллах полупроводников. Взаимодействие дефектов". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести</p>

4.1	Дефектообразование в кристаллах полупроводников	26	2	-	4	-	-	-	-	-	20	-	<p>расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: расчет режимов технологических операций при изготовлении биполярной ИС, расчет режимов технологических операций при изготовлении ИС на основе КМОП</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Дефектообразование в кристаллах полупроводников. Взаимодействие дефектов"</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Дефектообразование в кристаллах полупроводников. Взаимодействие дефектов" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка к контрольной работе:</u> Изучение материалов по разделу Дефектообразование в кристаллах полупроводников. Взаимодействие дефектов и подготовка к контрольной работе</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Дефектообразование в кристаллах полупроводников. Взаимодействие дефектов"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> <p>[1], стр. 215-287 [3], 3-22 [4], стр. 3-9 [5], 194-266</p>
4.2	Взаимодействие дефектов	26	2	-	4	-	-	-	-	-	20	-	
4.3	Протяжённые неоднородности	20	2	-	4	-	-	-	-	-	14	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0	14	-	28	-	2	-	-	0.5	102	33.5	
	Итого за семестр	180.0	14	-	28	2	-	-	0.5	135.5			

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Введение. Материаловедение полупроводников. Высокочистые вещества

1.1. Материаловедение полупроводников

Материаловедение полупроводников. Реальный кристалл. Классификация дефектов в полупроводниковых материалах..

1.2. Высокочистые вещества

Высокочистые вещества: современные требования, способы выражения концентрации примеси, методы очистки. Понятие полупроводниковой чистоты.

2. Основы теории кристаллизации

2.1. Основы теории кристаллизации

Зарождение и рост кристаллов. Механизмы и кинетика роста кристаллов, закономерности кристаллизации. Фазовые равновесия в системе полупроводник - примесь. Термическое переохлаждение и его роль в процессе кристаллизации чистых веществ. Концентрационное переохлаждение. Направленная и зонная кристаллизация.

3. Растворимость в бинарных системах

3.1. Растворимость в бинарных системах

Неограниченная и ограниченная растворимость в бинарных системах. Эвтектики. Перитектические превращения. Химические соединения на диаграммах состояния: с конгруэнтным и инконгруэнтным плавлением, областью гомогенности.

4. Дефектообразование в кристаллах полупроводников. Взаимодействие дефектов. Протяжённые неоднородности

4.1. Дефектообразование в кристаллах полупроводников

Дефектообразование в кристаллах полупроводников: равновесие точечных дефектов, зависимость от температуры.

4.2. Взаимодействие дефектов

Примесные дефекты: изо- и иновалентные примеси, фоновые примеси. Физико-химические основы легирования кристаллов: растворимость, взаимодействие примесей с собственными дефектами. Точечные дефекты в сложных полупроводниках (соединениях): стехиометрия, область гомогенности..

4.3. Протяжённые неоднородности

Дислокации: основные типы, энергия и перемещение, плотность дислокаций, методы определения. Дефекты упаковки в кристаллах ГЦК и ГПУ структур.

3.3. Темы практических занятий

1. Примеси в кристаллах полупроводников;
2. Методы оценки чистоты полупроводниковых материалов;
3. Растворимость в бинарных системах;
4. Распределение примеси в кристалле;
5. Равновесие собственных точечных дефектов в полупроводниках;
6. Равновесие дефектов в сложных полупроводниках;

7. Дефекты роста, дислокации, дефекты упаковки.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Введение. Материаловедение полупроводников. Высокочистые вещества"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы теории кристаллизации"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Растворимость в бинарных системах"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Дефектообразование в кристаллах полупроводников. Взаимодействие дефектов. Протяжённые неоднородности"

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Введение. Материаловедение полупроводников. Высокочистые вещества"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Основы теории кристаллизации"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Растворимость в бинарных системах"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Дефектообразование в кристаллах полупроводников. Взаимодействие дефектов. Протяжённые неоднородности"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
Знать:						
физико-химические процессы изготовления интегральных схем	ИД-2ПК-1			+		Контрольная работа/Растворимость в бинарных системах
классификацию дефектов в полупроводниковых кристаллах и фазах переменного состава	ИД-2ПК-2	+				Тестирование/.Дефекты в полупроводниках. Введение примесей.
Уметь:						
разрабатывать технологический маршрут изготовления интегральных схем	ИД-2ПК-1				+	Расчетно-графическая работа/Расчетное задание. Физико-химические процессы изготовления ИС
оценивать целесообразность использования различных полупроводниковых материалов в конкретных устройствах	ИД-2ПК-2	+	+			Контрольная работа/Использование полупроводниковых материалов. Последовательность изготовления ИС.

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

6 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Дефекты в полупроводниках. Введение примесей. (Тестирование)
2. Использование полупроводниковых материалов. Последовательность изготовления ИС. (Контрольная работа)
3. Растворимость в бинарных системах (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Расчетное задание. Физико-химические процессы изготовления ИС (Расчетно-графическая работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №6)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 6 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий : в 2 т : учебное пособие для вузов / Общ. ред. Ю. Н. Коркишко . – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010 . – (Нанотехнологии) . - ISBN 978-5-9963-0341-0 . Т. 1 : Физико-химические основы технологии микроэлектроники / Ю. Д. Чистяков, Ю. П. Райнова ; Общ. ред. Ю. Н. Коркишко . – 2010 . – 392 с. - ISBN 978-5-9963-0335-9 . ;
2. Морозова, Н. К. Перераспределение фоновых примесей при термообработке монокристаллического Si(Ge). Лабораторная работа N 6 : методическое пособие по курсу "Физическая химия и технология материалов электронной техники" по направлению "Электроника и микроэлектроника" / Н. К. Морозова, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2009 . – 12 с.
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=1466>;
3. Морозова, Н. К. Контроль структуры полупроводниковых материалов методами световой микроскопии. Лабораторная работа N5 : методическое пособие по курсу "Физическая химия и технология материалов электронной техники" по направлению "Электроника и микроэлектроника" / Н. К. Морозова, В. А. Дмитриев, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Издательский дом МЭИ, 2009 . – 24 с.
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=772>;
4. Морозова, Н. К. Равновесие собственных точечных дефектов в кристалле бинарного полупроводника МХ : Методическое пособие по курсу "Физическая химия

полупроводниковых материалов и технологий" по направлению "Электроника и микроэлектроника" / Н. К. Морозова, В. В. Блинов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2004 . – 12 с.;

5. Горелик, С. С. Материаловедение полупроводников и диэлектриков : Учебник для вузов по специальности "Физика и технология материалов и компонентов электронной техники" / С. С. Горелик, М. Я. Дашевский . – М. : Металлургия, 1988 . – 574 с.;

6. Ормонт, Б. Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников : учебное пособие для втузов / Б. Ф. Ормонт ; Ред. В. М. Глазов . – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Высшая школа, 1982 . – 528 с.;

7. А. И. Бродский- "Физическая химия", (6-е изд., перераб., доп.), Издательство: "Государственное научно-техническое издательство химической литературы", Москва, Ленинград, 1948 - (490 с.)

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=222532>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>

2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red

3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>

4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>

5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>

6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>

7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>

8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>

9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>

10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>

11. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

12. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>

13. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>

14. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>

15. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>

16. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>

17. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>

18. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru;>
<http://docs.cntd.ru/>

19. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>

20. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>

21. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	К-102, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	К-105/1, Компьютерный класс	стол, стол для оргтехники, стол компьютерный, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	К-102, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-302, Читальный зал отдела обслуживания учебной литературой	стул, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
Помещения для консультирования	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	К-102, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	К-109/2, Кабинет сотрудников каф. "ЭиН"	стол, стул, шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, стол письменный, дипломные и курсовые работы студентов
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	К-115, Склад каф. "ЭиН"	стеллаж, инвентарь учебный

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Физическая химия полупроводников

(название дисциплины)

6 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Дефекты в полупроводниках. Введение примесей. (Тестирование)

КМ-2 Растворимость в бинарных системах (Контрольная работа)

КМ-3 Использование полупроводниковых материалов. Последовательность изготовления ИС. (Контрольная работа)

КМ-4 Расчетное задание. Физико-химические процессы изготовления ИС (Расчетно-графическая работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	14
1	Введение. Материаловедение полупроводников. Высокочистые вещества					
1.1	Материаловедение полупроводников		+			
1.2	Высокочистые вещества				+	
2	Основы теории кристаллизации					
2.1	Основы теории кристаллизации				+	
3	Растворимость в бинарных системах					
3.1	Растворимость в бинарных системах			+		
4	Дефектообразование в кристаллах полупроводников. Взаимодействие дефектов. Протяжённые неоднородности					
4.1	Дефектообразование в кристаллах полупроводников					+
4.2	Взаимодействие дефектов					+
4.3	Протяжённые неоднородности					+
Вес КМ, %:			15	25	25	35