

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Гаврилов Сергей Александрович
Должность: И.О. Ректора
Дата подписания: 28.07.2025 14:42:59
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. Балашиов
«28» февраля 2025 г.
М.П.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Дефекты в материалах»

Направление подготовки - 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»
Направленности (профили) – «Материалы и технологии микро- и нанoeлектроники»,
«Микроэлектроника и твердотельная электроники», «Материалы и технологии
функциональной электроники»

Москва 2025

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Компетенция **ПК- 4** «Способность делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения» сформулирована на основе профессиональных стандартов:

40.006 «Инженер-технолог в области производства наноразмерных полупроводниковых приборов и интегральных схем»

Обобщенная трудовая функция - А[7] Обеспечение функционирования нанoeлектронного производства в соответствии с технологической документацией. Поддержка и улучшение существующих технологических процессов и необходимых режимов производства выпускаемой организацией продукции

Трудовые функции: А/04.7 Разработка предложений по модернизации технологического процесса

А/05.7 Разработка рекомендаций по модернизации технологического оборудования и технологической оснастки на выпускаемую организацией продукцию

40.058 «Инженер-технолог по производству изделий микроэлектроники»

Обобщенная трудовая функция D[7] Разработка групповых технологических процессов и модернизация производства изделий микроэлектроники

Трудовая функция D/03.7 Разработка и адаптация групповых технологических процессов производства изделий микроэлектроники

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-4. ДвМ Способен делать научно-обоснованные выводы по дефектности материалов на основе результатов экспериментальных исследований	<i>Научно-исследовательский тип задач:</i> разработка методики и проведение исследований и измерений параметров и характеристик изделий электронной техники, анализ их результатов	Знания видов и процессов дефектообразования в полупроводниках Умения анализировать причины дефектообразования Опыт деятельности, направленный на способность правильно определять возникающие дефекты и их влияние на свойства материала и электрофизические параметры формируемых приборных структур

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 бакалавриата: «Кристаллография», «Материалы электронной техники», «Физико-химические основы технологии

интегральных микро- и наноструктур», «Процессы микро- и нанотехнологии» и дисциплины магистратуры «Современные методы исследования материалов электронной техники».

Формируемые в процессе изучения дисциплины компетенции в дальнейшем углубляются выполнением индивидуального задания 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)		
2	3	3	108	16	16	16	60	ЗаО

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
1. Точечные дефекты	2	-	2	2	Опрос
2. Линейные дефекты	4	4	4	5	Защита лабораторной работы
					Опрос
3. Поверхностные дефекты	2	-	2	2	Опрос
4. Объемные дефекты	2	4	2	7	Тестирование
					Опрос
					Защита лабораторной работы
5. Процессы дефектообразования в полупроводниках	4	8	4	24	Опрос
					Тестирование
					Защита лабораторных работ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
					Сдача индивидуального задания
6. Дефекты в приборных структурах	4	-	2	20	Тестирование
					Опрос
					Сдача индивидуального задания

4.1. Лекционные занятия

№ модуля	№ дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2		Классификация дефектов в кристаллических материалах и их влияние на свойства. Источники дефектов. Геометрическая конфигурация точечных дефектов. Термодинамика точечных дефектов. Движение и стоки точечных дефектов. Радиационные дефекты. Дефекты нестехиометрии. Симметрия дефекта и теория групп.
2	2	2		Дислокации. Источники дислокаций. Геометрические свойства. Вектор и контур Бюргерса. Мощность вектора Бюргерса. Поле напряжений дислокации и силы, действующие на дислокацию. Размножение дислокаций.
	3	2		Собственная энергия дислокации и взаимодействие дислокаций. Движение дислокаций путем скольжения и переползания. Движение дислокаций, обусловленное механизмом Пайерлса.
3	4	2		Поверхностные дефекты. Дефекты упаковки. Малоугловые границы (субграницы, границы блоков). Высокоугловые границы (границы кристаллитов, зерен). Двойникование. Двойникование в полупроводниках.
4	5	2		Микродефекты в монокристаллах полупроводников. Основные характерные свойства микродефектов. Модели механизмов зарождения и роста микродефектов.
5	6	2		Дислокации в полупроводниках. Причины образования. Влияние уровня термоупругих напряжений, легирования на характер распределения дислокаций. Образование субструктуры в кристаллах полупроводников.
6	7	2		Деграция полупроводниковых приборов как результат

			дефектообразования. Выход годных.
	8	2	Геттерирование как метод удаления и дезактивации дефектов в полупроводниках. Классификация методов геттерирования. Геттеры в кремнии.

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	2	Точечные дефекты. Кристаллическая структура элементарных полупроводников и полупроводниковых соединений. Собственные точечные дефекты в полупроводниках. Методы исследования точечных дефектов: косвенные, прямые, расчетные.
2	2	2	Частичные дислокации. Дислокационные реакции. Критерий Франка. Тетраэдр Томпсона. Группы дислокаций. Малоугловые и среднеугловые границы зерен.
	3	2	Типы дислокации в кристаллах с решеткой алмаза и сфалерита. Оптические и дифракционные методы наблюдения дислокаций. Избирательное (селективное) травление кристаллов полупроводников. Методика прогнозирования формы ямки травления.
3	4	2	Поверхностные дефекты. Дефекты упаковки, ограниченные частичными дислокациями. Поверхностные дефекты, возникающие при кристаллографических сдвигах. Пластическая деформация. Системы скольжения.
4	5	2	Объемные дефекты и их проявление в свойствах кристаллов. Критерии механизма зарождения и роста трещин. Поры. Взаимодействие дефектов в кристаллах.
5	6	2	Особенности дефектообразования в кремнии и германии. Окислительные дефекты упаковки в кремнии. Влияние дефектов на электрофизические параметры.
	7	2	Особенности дефектообразования в полупроводниковых соединениях $A^{III}B^V$, $A^{II}B^{VI}$, $A^{IV}B^{VI}$. Влияние условий выращивания и термообработки.
6	8	2	Влияние дефектов структуры на параметры полупроводниковых приборов. Влияние структурных дефектов на p- n переход. Бездефектная технология приборов. Приборы на основе дислокационных структур.

4.3. Лабораторные работы

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Наименование работы
2	1	4	Дислокационная структура монокристаллов полупроводников.
4	2	4	Исследование микродефектов в бездислокационных кристаллах полупроводников.
5	3	4	Структурные дефекты в эпитаксиальных слоях полупроводников.
	4	4	Исследование дефектов, возникающих на различных стадиях обработки монокристаллического кремния.

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
1	2	Подготовка к практическим занятиям
2	2	Подготовка к практическим занятиям
	3	Подготовка к лабораторной работе
3	2	Подготовка к практическим занятиям
4	3	Подготовка к тесту
	2	Подготовка к практическому занятию
	2	Подготовка к лабораторной работе
5	6	Подготовка к тесту
	2	Подготовка к практическим занятиям
	4	Подготовка к лабораторным работам
	12	Подготовка индивидуального задания
6	2	Подготовка к практическому занятию
	12	Подготовка индивидуального задания
	6	Подготовка к зачету

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/>):

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

Модуль 1 «Точечные дефекты»

- ✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения тематики модуля 1 в объеме лекции 1
- ✓ Учебно-методические материалы для подготовки к практическому занятию 1.

Модуль 2 «Линейные дефекты»

- ✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения тематики модуля 2 в объеме лекций 2,3, подготовки к практическим занятиям 2,3.
- ✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения теории при подготовке к лабораторной работе 1.

Модуль 3 «Поверхностные дефекты»

- ✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения тематики модуля 3 в объеме лекции 4, подготовки к практическому занятию 4.

Модуль 4 «Объемные дефекты»

- ✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения тематики модуля 4 в объеме лекции 4, подготовки к практическому занятию 5, тесту 1.
- ✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения теории при подготовке к лабораторной работе 2.

Модуль 5 «Процессы дефектообразования в полупроводниках»

- ✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения тематики модуля 5 в объеме лекции 6, подготовки к практическим занятиям 6, 7, тесту 2, индивидуального задания 1.
- ✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения теории при подготовке к лабораторным работам 3, 4.

Модуль 6 «Дефекты в приборных структурах»

- ✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения тематики модуля 6 в объеме лекций 7, 8, подготовки к практическому занятию 8, индивидуального задания 2.

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Попенко Н.И. Структура реальных кристаллов: Учеб. пособие / Н. И. Попенко, А. В. Железнякова, Ю.И. Шиялева; М-во образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет МИЭТ. - М.: МИЭТ, 2015. - 120 с.
2. Материаловедение: Учебник / В. Н. Гадалов, С. В. Сафонов, Д. Н. Романенко и др. - М.: АРГАМАК-МЕДИА: ИНФРА-М, 2014. - 272 с.
3. Физическое материаловедение: В 7-ми т.: Учебник. Т. 1: Физика твердого тела / Под общ. ред. Б.А. Калина. - 2-е изд. перераб. - М.: НИЯУ МИФИ, 2012. - 764 с.

4. Попенко Н.И. Кристаллография: Лабораторный практикум / Н. И. Попенко, А. В. Железнякова; М-во образования и науки РФ, МГИЭТ(ТУ). - М.: МИЭТ, 2010. - 76 с.
5. Мильвидский М.Г. Структурные дефекты в эпитаксиальных слоях полупроводников /М. Г. Мильвидский, В. Б. Освенский. - М.: Металлургия, 1985. - 159 с.
6. Синельников Б.М. Физическая химия кристаллов с дефектами: Учеб. пособие /Б. М. Синельников. - М.: Высшая школа, 2005. - 136 с.
7. Вавилов В.С. Дефекты в кремнии и на его поверхности / В. С. Вавилов, В. Ф. Киселев, Б. Н. Мукашев. - М.: Наука, 1990. - 212 с.
8. Рейви К. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии: Пер. с англ. /К. Рейви. - М.: Мир, 1984. - 472 с.
9. Вавилов В.С. Механизмы образования и миграции дефектов в полупроводниках / В. С. Вавилов, А. Е. Кив, О. Р. Ниязова. - М.: Наука, 1981. - 368 с.

Периодические издания

1. Известия вузов. Электроника : Научно-технический журнал / М-во образования и науки РФ; МИЭТ; Гл. ред. Ю.А. Чаплыгин. - М. : МИЭТ, 1996.
2. Известия вузов. Материалы электронной техники : Научный рецензируемый журнал / ФГБОУ ВПО "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС". - М. :МИСиС, 1998 -. - URL: <http://met.misis.ru/jour>(дата обращения: 16.02.2025)
3. Физика и техника полупроводников : научный журнал / Российская академия наук, Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук. - Санкт-Петербург : Наука : ФТИ им. А. Ф. Иоффе, 1967 - . - URL: <http://journals.ioffe.ru/ftp> (дата обращения: 11.02.2025).
4. Российские нанотехнологии / Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт". - Москва : ИКЦ Академкнига, 2006 - . - URL: <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=10601> (дата обращения: 13.02.2025). - Режим доступа: по подписке
5. Неорганические материалы / РАН. - М. : Наука, 1965 -. - URL: <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7918> (дата обращения: 13.02.2025). - Режим доступа: по подписке
6. Журнал технической физики/ РАН, Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе. - СПб. : Наука, 1931 -.- URL: <http://journals.ioffe.ru/jtf> (дата обращения: 11.02.2025).
7. Журнал экспериментальной и теоретической физики : Научный журнал / РАН, Ин-т физических проблем им. П.Л. Капицы. - М. :РАН, Наука, 1873 -.- URL: <http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/r/index/scope>(дата обращения: 11.02.2025).

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. Scopus: экспертно кураторская база данных рефератов и цитат: сайт. – Elsevier, 2020. - URL: <http://www.scopus.com>(дата обращения: 12.02.2025). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей

2. eLIBRARY.RU: Научная электронная библиотека: сайт. - Москва, 2000. - URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 22.01.2025). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
3. Лань: электронно-библиотечная система. – Санкт-Петербург, 2011. – URL: <https://e.lanbook.com/> (дата обращения: 21.01.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации обучения используется **смешанное обучение**, основанное 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>).

Контроль освоения образовательной программы обеспечивается электронным тестированием в ОРИОКС.

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

В процессе обучения при проведении занятий и для самостоятельной работы используются внутренние электронные ресурсы в формах видеолекций, внутренних онлайн-курсов, тестирования в ОРИОКС.

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 с ПО и возможностью подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ, беспроводная клавиатура + мышь, проектор, микроскоп металлографический агрегатный серии ЕС МЕТАМ РВ:	Операционная система Windows, пакет MS Office
Учебная аудитория № 4139, «Лабораторный практикум по материалам электронной техники»	Проектор, мультимедийный комплекс, компьютеры, принтеры, интернет	Операционная система Windows, пакет MS Office
Помещение для	Компьютерная техника с возможностью	ОС Microsoft

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
самостоятельной работы	подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	Windows Microsoft Office Professional Plus браузер Acrobat reader DC

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции **ПК-4.ДвМ** Способен делать научно-обоснованные выводы по дефектности материалов на основе результатов экспериментальных исследований.

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

В рамках рассматриваемого курса предусмотрены следующие формы учебных занятий:

–лекции, цель которых состоит в рассмотрении теоретических вопросов дисциплины;

–практические занятия, целью проведения которых является изучение основных видов дефектов, возникающих при изготовлении приборных структур на различных этапах технологического маршрута, а также контроль выполнения студентами внеаудиторной самостоятельной работы;

–лабораторные занятия, целью проведения которых является практическое закрепление рассмотренных на занятиях особенностей процессов дефектообразования в полупроводниках, формирование профессиональных компетенций, умений и навыков определения различных типов дефектов методами, используемыми на предприятиях;

–внеаудиторная самостоятельная работа, цель которой – закрепление полученных знаний, подготовка к практическим (лабораторным) занятиям, приобретение опыта самостоятельной работы с различными источниками информации. Самостоятельная работа студентов планируется по каждой из тем курса.

Курс состоит из 6 модулей. Первые четыре модуля являются основными, дающими базовые понятия о различных типах дефектов в кристаллах, закономерностях и источниках их возникновения. На практических занятиях в рамках этих модулей в ходе проведения дискуссии рассматриваются характерные свойства и взаимодействие различных дефектов, что дает возможность использовать эти знания в профессиональной деятельности каждого обучающегося. Последовательность освоения модулей определяется переходом от изучения дефектов, исходя из классификации по размерному признаку (модули 1 - 4), возможных в кристаллических материалах, к «ростовым» и «введенным» дефектам, возникающим в полупроводниках при росте и различного вида обработках (модуль 5). оценить влияние процессов дефектообразования на формирование приборных структур(модуль 6). Последний модуль направлен на обобщение информации в разрезе современных тенденций и технологий. В рамках 6 модуля каждый обучающийся проводит анализ возможности образования дефектов в материалах и технологических процессах, исходя из своей профессиональной деятельности.

В индивидуальном задании необходимо аргументированно проанализировать процессы дефектообразования в материалах, возникающих на различных технологических операциях, предложить актуальные методы их контроля. Результаты выполнения индивидуального задания публично представляются на последнем занятии в виде электронной презентации, обсуждаются в группе и с преподавателем. Итоговый отчет представляется преподавателю после доработки на основе полученных комментариев и замечаний.

Самостоятельная работа направлена на предварительную подготовку к практическим занятиям, лабораторным работам, тестам и проработку теоретического материала, разбираемого на семинарских занятиях. Особое внимание необходимо уделить подготовке индивидуального задания, поскольку оно является ключевым с точки зрения анализа, представления и описания дефектов.

11.2. Система контроля и оценивания

По завершению изучения дисциплины предусмотрен зачет с оценкой. Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительно-балльная система.

Баллами оцениваются выполнение каждого контрольного мероприятия и активность в семестре (в сумме 73 баллов), активность в семестре (в сумме 7 баллов) и сдача зачета (20 баллов). Для сдачи зачёта с оценкой по дисциплине разработан ФОС, включающий тестовые задания и практико-ориентированное задание по проверке сформированности компетенции с методическими указаниями по их выполнению и критериями оценки.

По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий доступен в ОРИОКС// URL: <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

РАЗРАБОТЧИК:

Доцент Института ПМТ, к.х.н., доцент  /Н.И.Попенко/

Рабочая программа дисциплины «Дефекты в материалах» по направлению подготовки 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника», направленностям (профилям) «Материалы и технологии микро- и нанoeлектроники», «Микроэлектроника и твердотельная электроника» и «Материалы и технологии функциональной электроники» разработана в Институте ПМТ и утверждена на заседании Ученого совета Института 28 февраля 2025 года, протокол № 18

Директор Института ПМТ

 /С.В.Дубков/

Лист согласования

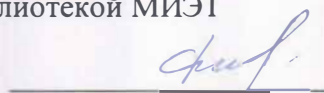
Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК

 /И.М.Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки

 /Т.П.Филиппова/