

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Гаврилов Сергей Александрович

Должность: Ректор

Дата подписания: 08.09.2026 12:43:44 Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Уникальный программный идентификатор: 488ddcd30399efca200d034e027f45455f6eb1b9 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Национальный исследовательский университет

«Московский институт электронной техники»



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

А.Г. Балашов

«08» июня 2023 г.

М.П.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Дефекты в материалах»

Направление подготовки - 28.04.03 «Наноматериалы»

Направленность (профиль) - «Синхротронное излучение в технологии наноматериалов»

Москва 2023

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Компетенция ОП	Подкомпетенция	Индикаторы достижения подкомпетенций
ОПК-1 Способен ставить и решать инженерные и научно-технические задачи в области получения и исследования наноматериалов и новых междисциплинарных направлений с использованием естественнонаучных и математических моделей	ОПК-1.ДвМ Способен делать научно-обоснованные выводы по дефектности материалов на основе результатов экспериментальных исследований	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 обязательную часть Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Входные требования к дисциплине: изучению дисциплины предшествует формирование компетенций в дисциплинах бакалавриата: «Кристаллография», «Материалы электронной техники», «Технология наноматериалов», «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	4	144	-	16	32	60	Экз (36)

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
1. Точечные дефекты	-	-	6	2	Опрос 1
2. Линейные дефекты	-	4	8	5	Защита лабораторной работы 1
					Опрос 2
3. Поверхностные дефекты	-	-	4	2	Опрос 3
4. Объемные дефекты	-	4	4	10	Тестирование 1
					Опрос 4
5. Процессы дефектообразования в полупроводниках	-	8	8	23	Опрос 5
					Тестирование 2
					Защита лабораторной работы 2
					Сдача индивидуального задания 1
6. Дефекты в приборных структурах	-	-	2	18	Тестирование 3
					Опрос 6
					Сдача индивидуального задания 2

4.1. Лекционные занятия

Не предусмотрены

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
1	1	2	Классификация дефектов в кристаллических материалах и их

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
			влияние на свойства. Источники дефектов. Симметрия дефекта и теория групп.
	2	2	Точечные дефекты. Геометрическая конфигурация точечных дефектов, движение. Радиационные дефекты. Дефекты нестехиометрии.
	3	2	Собственные точечные дефекты в полупроводниках. Методы исследования точечных дефектов: косвенные, прямые, расчетные.
2	4	2	Дислокации. Источники дислокаций. Геометрические свойства. Вектор и контур Бюргерса. Мощность вектора Бюргерса. Поле напряжений дислокации и силы, действующие на дислокацию. Размножение дислокаций.
	5	2	Собственная энергия дислокации и взаимодействие дислокаций. Движение дислокаций путем скольжения и переползания. Движение дислокаций, обусловленное механизмом Пайерлса.
	6	2	Частичные дислокации. Дислокационные реакции. Критерий Франка. Тетраэдр Томпсона. Группы дислокаций. Малоугловые и среднеугловые границы зерен.
	7	2	Типы дислокации в кристаллах с решеткой алмаза и сфалерита. Оптические и дифракционные методы наблюдения дислокаций.
3	8	2	Поверхностные дефекты. Границы зерен. Дефекты упаковки. Поверхностные дефекты, возникающие при кристаллографических сдвигах.
	9	2	Пластическая деформация. Системы скольжения. Двойникование в полупроводниках.
4	10	2	Объемные дефекты и их проявление в свойствах кристаллов. Критерии механизма зарождения и роста трещин. Поры.
	11	2	Микродефекты в монокристаллах полупроводников. Основные характерные свойства микродефектов. Модели механизмов зарождения и роста микродефектов.
5	12	2	Особенности дефектообразования в кремнии и германии. Окислительные дефекты упаковки в кремнии. Влияние дефектов на электрофизические параметры.
	13	2	Особенности дефектообразования в полупроводниковых соединениях $A^{III}B^V$, $A^{II}B^{VI}$, $A^{IV}B^{VI}$. Влияние условий выращивания и термообработки.
	14	2	Дефекты в полупроводниках, возникающие на различных стадиях эпитаксиально-диффузионной технологии интегральных микросхем.

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
	15	2	Контроль параметров полупроводниковых пластин. Структура и качество приповерхностных слоев в пластинах кремния.
6	16	2	Влияние дефектов структуры на параметры полупроводниковых приборов. Влияние структурных дефектов на р-п переход. Дegrадация полупроводниковых приборов как результат дефектообразования. 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	5	Подготовка к тесту

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
	2	Подготовка к практическим занятиям
	3	Подготовка к лабораторной работе
5	6	Подготовка к тесту
	2	Подготовка к практическим занятиям
	5	Подготовка к лабораторным работам
	10	Выполнение индивидуального задания
6	2	Подготовка к практическому занятию
	10	Выполнение 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/>):

Модуль 1 «Точечные дефекты»

✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения тематики модуля 1, подготовки к практическим занятиям 1-3.

Модуль 2 «Линейные дефекты»

✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения тематики модуля 2, подготовки к практическим занятиям 4 - 7.

✓ 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, подготовки к практическим занятиям 8, 9.

Модуль 4 «Объемные дефекты»

✓ Учебно-методические материалы для самостоятельного изучения тематики модуля 4, подготовки к практическим занятиям 10 - 11, тестированию 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, подготовки к практическим занятиям 12 – 15, тестированию 2, выполнению индивидуального задания.

✓ 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, подготовки к практическому занятию 16, выполнению индивидуального задания.

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Попенко Н.И. Структура реальных кристаллов: Учеб. пособие / Н. И. Попенко, А. В. Железнякова, Ю.И. Шиляева; 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.

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: 16.06.2023)
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: 16.06.2023).
4. Российские нанотехнологии / Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт". - Москва : ИКЦ Академкнига, 2006 - . - URL: <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=10601> (дата обращения: 16.06.2023). - Режим доступа: по подписке
5. Неорганические материалы / РАН. - М. : Наука, 1965 - . - URL: <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7918> (дата обращения: 16.06.2023). - 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: 16.06.2023).

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: 16.06.2023).

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. eLIBRARY.RU: Научная электронная библиотека: сайт. - Москва, 2000. - URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 16.06.2023). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
2. Лань: электронно-библиотечная система. – Санкт-Петербург, 2011. – URL: <https://e.lanbook.com/> (дата обращения: 16.06.2023). – 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.

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

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 Epson EB-G5600, микроскоп ЛОМО МЕТАМ РВ-21-2	Операционная система Windows, пакет MS Office

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
	Микроскопы МЕТАМ РВ21-1(5шт.)	
Учебная аудитория № 4139, «Лабораторный практикум по материалам электронной техники»	Проектор, мультимедийный комплекс, компьютеры, принтеры, интернет	Операционная система Windows, пакет MS Office
Помещение для самостоятельной работы	Помещение, оснащенное компьютерной техникой, с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	ОС Microsoft Windows Microsoft Office Professional Plus браузер Acrobat reader DC

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции **ОПК-1. 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:

–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.

Все содержание дисциплины разбито на 6 модулей. Каждый модуль является логически завершенной частью курса. Успешность освоения каждого модуля оценивается по результатам выполнения обязательных контрольных мероприятий.

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 студенты должны осуществить поиск дополнительной информации по темам семинаров в научных источниках (рекомендованных ПБД и ИСС), 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.

11.2. Система контроля и оценивания

По завершению изучения дисциплины предусмотрен Экзамен. Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительно-балльная система. Баллами оцениваются выполнение каждого контрольного мероприятия и активность в семестре (в сумме 80 баллов) и сдача экзамена (20 баллов). Для сдачи экзамена 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:

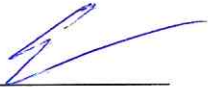
Сумма баллов	Оценка
Менее 50	2
50 – 69	3
70 – 85	4
86 – 100	5

РАЗРАБОТЧИК:

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

Рабочая программа дисциплины «Дефекты в материалах» по направлению подготовки 28.04.03 «Нanomатериалы», направленности (профилю) «Синхротронное излучение в технологии наноматериалов» разработана в институте ПМТ и утверждена на заседании Ученого совета Института 27 июня 2023 года, протокол № 27

Директор Института ПМТ


/С.А.Гаврилов/

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/