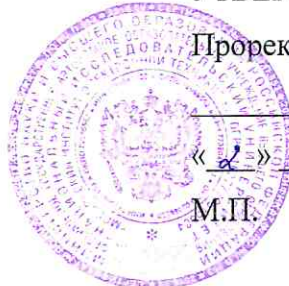


Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Беспалов Владимир Александрович  
Должность: Ректор МИЭТ  
Дата подписания: 01.09.2023 16:07:20  
Уникальный программный ключ:  
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736f6c878ca952b36c0

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*

И.Г. Игнатова

« 2 » *сентября* 202 0 г.

М.П.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Дефекты в материалах»

Направление подготовки - 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Направленность (профиль) – «Материалы и технологии функциональной электроники»

Москва 2020

## 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
<b>ПК-4. ДвМ</b> 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	<b>Знания</b> видов и процессов дефектообразования в полупроводниках <b>Умения</b> анализировать причины дефектообразования <b>Опыт</b> 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», «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	3	108	-	16	32	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	-	-	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

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
					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 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 Бюргера. Мощность вектора Бюргера. 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

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Наименование занятия
			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.
	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 p- n 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
	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: 16.08.2020)
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: 11.09.2020).
4. Российские нанотехнологии / Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт". - Москва : ИКЦ Академкнига, 2006 - . - URL: <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=10601> (дата обращения: 13.09.2020). - Режим доступа: по подписке
5. Неорганические материалы / РАН. - М. : Наука, 1965 - . - URL: <http://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7918> (дата обращения: 13.09.2020). - 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: 11.09.2020).
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: 11.09.2020).

### **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: 12.09.2020). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей
2. eLIBRARY.RU: Научная электронная библиотека: сайт. - Москва, 2000. - URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 22.09.2020). - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
3. Лань: электронно-библиотечная система. – Санкт-Петербург, 2011. – URL: <https://e.lanbook.com/>(дата обращения: 21.09.2020). – 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 Микроскопы МЕТАМ РВ21-1(5шт.)	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 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 **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:

–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 зачёт с оценкой. 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 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» направленности (профилю) «Материалы и технологии функциональной электроники» разработана в Институте ПМТ и утверждена на заседании Ученого совета Института 30 сентября 2020 года, протокол № 39

Зам. директора Института ПМТ  /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/