

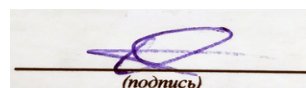
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра микроэлектроники и общей физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета



И.С.Огнев

« 23 » мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины
«Практикум по технологии интегральных систем»**

Направление подготовки
11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Профиль «Интегральная электроника и наноэлектроника»

Форма обучения
очная

Программа рассмотрена
на заседании кафедры МЭОФ
от «17» апреля 2023 года, протокол № 5

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол №5 от «25» апреля 2023 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Практикум по технологии интегральных систем» являются:

- изучение базовых методик контроля в технологическом процессе создания интегральных схем;
- формирование умений и навыков проведения экспериментальных исследований и операций контроля в технологическом цикле создания интегральных систем.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Практикум по технологии интегральных систем» относится к курсам по выбору в части, формируемой участниками образовательных отношений, и имеет индекс Б1.В.ДВ.01.01.

Данная дисциплина требует для своего изучения знания дисциплин «Основы кристаллографии и кристаллохимии», «Основы конструирования и технологии производства электронных средств», «Материалы электронной техники».

Дисциплина «Практикум по технологии интегральных систем» является основой для изучения последующих курсов, таких как «Наноэлектроника», «Физические основы электроники», «Микроэлектроника», «Актуальные вопросы микро- и наноэлектроники».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ООП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
Профессиональные компетенции		
ПК-2 Способен аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.	ИД_ПК-2.1. Знает методы и методики проведения исследований параметров и характеристик электронных приборов и схем.	Знает: - базовые методики контроля параметров в технологии интегральных схем и электронных систем. Умеет: - проводить измерения и обработку результатов при контроле технологических операций микроэлектроники. Владет навыками: - планирования эксперимента при определении параметров и характеристик систем электроники.
	ИД_ПК-2.2. Демонстрирует навыки экспериментального определения характеристик устройств электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.	Знает: - основные требования безопасного проведения эксперимента в технологии микроэлектроники. Умеет: - применять полученные знания для контроля параметров и характеристик в технологическом процессе, оперировать физическими и технологическими терминами и величинами; Владет навыками: - проведения испытаний изделий после типовых технологических процессов микроэлектроники заданной точностью.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 акад. часа.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации (по семестрам) Формы ЭО и ДОТ*
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Входной контроль монокристаллических кремниевых пластин	6			4			4	Дискуссия, отчеты по лабораторным работам
2	Определение кристаллографической ориентации и плотности дислокаций для полупроводниковых образцов	6			4			4	Дискуссия, отчеты по лабораторным работам
3	Измерение удельного сопротивления полупроводниковых материалов и пленок четырехзондовым методом. Определение концентрации примесных атомов в кремнии	6			4	1		5	Дискуссия, отчеты по лабораторным работам
4	Определение поверхностной концентрации диффузионных слоев	6			6			4	Дискуссия, отчеты по лабораторным работам
5	Методы контроля омичности контакта алюминий-кремний. Определение величины переходного сопротивления контактов	6			4	1		5	Дискуссия, отчеты по лабораторным работам

6	Контроль удельного сопротивления полупроводниковых пластин и пленок методом Ван-дер-Пау	6			4			4	Дискуссия, отчеты по лабораторным работам
7	Контроль величины пористости пористого кремния методом измерения диэлектрической проницаемости	6			4	1		4,7	Дискуссия, отчеты по лабораторным работам
8	Определение толщины пленок диоксида кремния цветовым методом	6			4			4	Дискуссия, отчеты по лабораторным работам
10	Всего за 6 семестр				34	3		34,7	
11							0,3		зачет
12	Всего				34	3	0,3	34,7	

**Примечание. Формы ЭО и ДОТ не предусмотрены. В случае перехода на дистанционное обучение будут использованы возможности LMS Moodle и других ресурсов.*

Список лабораторных работ по курсу «Практикум по технологии интегральных систем»

Лабораторная работа № 1

Входной контроль монокристаллических кремниевых пластин

Лабораторная работа № 2

Определение кристаллографической ориентации и плотности дислокаций для полупроводниковых образцов

Лабораторная работа № 3

Измерение удельного сопротивления полупроводниковых материалов и пленок четырехзондовым методом. Определение концентрации примесных атомов в кремнии

Лабораторная работа № 4

Определение поверхностной концентрации диффузионных слоев

Лабораторная работа № 5

Методы контроля омичности контакта алюминий-кремний. Определение величины переходного сопротивления контактов

Лабораторная работа № 6

Контроль удельного сопротивления полупроводниковых пластин и пленок методом Ван-дер-Пау

Лабораторная работа № 7

Контроль величины пористости пористого кремния методом измерения диэлектрической проницаемости

Лабораторная работа № 8

Определение толщины пленок диоксида кремния цветовым методом

5. Образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Лабораторное занятие – занятие, посвященное освоению теоретических знаний, полученных на лекциях и практических занятиях с помощью экспериментальных методов.

Консультации – вид учебных занятий, являющийся одной из форм контроля самостоятельной работы студентов. На консультациях по просьбе студентов рассматриваются наиболее сложные моменты при освоении материала дисциплины, преподаватель отвечает на вопросы студентов, которые возникают у них в процессе самостоятельной работы.

В процессе обучения (при необходимости) используются следующие технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии:

Электронный учебный курс «Практикум по технологии интегральных систем» в LMS Электронный университет Moodle ЯрГУ, в котором:

- представлены задания для самостоятельной работы обучающихся по темам дисциплины;
- осуществляется проведение отдельных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов;
- представлены материалы по отдельным темам дисциплины;
- представлены правила прохождения промежуточной аттестации по дисциплине;
- представлен список учебной литературы, рекомендуемой для освоения дисциплины;
- представлена информация о форме и времени проведения консультаций по дисциплине в режиме онлайн;
- посредством форума осуществляется синхронное и (или) асинхронное взаимодействие между обучающимися и преподавателем в рамках изучения дисциплины.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

- для формирования материалов для текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине;
- программы Microsoft Office;
- Adobe Acrobat Reader.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:

Автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»

http://www.lib.uni-yar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература:

1. Зимин С.П. Методы контроля технологических процессов в электронике. Методические указания по выполнению лабораторных работ. ЯрГУ, 2005
2. Воротынцев В. М., Скупов В. Д. Базовые технологии микро- и нанoeлектроники : учебное пособие. — М.: Проспект, 2017
<http://ebs.prospekt.org/book/37443/page/1>

б) дополнительная литература:

1. Таиров Ю. М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов: Учебник для вузов. - СПб.: Лань, 2002
2. Курносое А. И. Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем: учеб. пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 1986.

в) ресурсы сети «Интернет»

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ
(http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php).

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения лабораторных работ;
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Число посадочных мест в аудитории больше либо равно списочному составу потока, а лаборатории – списочному составу группы обучающихся.

В лабораторном практикуме в составе измерительных стендов используется оборудование и лабораторные образцы:

измерительный комплекс JG ST2258C;
микроскопы МИИ-4, МИР-12, МБС-2, МБИ-11, ОГМЭ-2П;
источники питания Б5-46, Б5-49, Б5-50, Агат, Электроника;
вольтметры В7-21А, В7-22А, В2-34, В2-36, В7-18, В7-18А, В7-35;
генераторы Г3-102, Г3-111;
измерители Л2-28, Щ68009, Щ68200, Щ4313;
омметры Е6-17, Щ30, Щ43;

наборы экспериментальных и тестовых образцов кремниевых пластин, полупроводниковых и гибридных интегральных схем, тестовых резистивных сборок, тонких пленок и наноструктурированных систем на различных подложках, наборы измерительных головок и термостабилизирующих устройств.

Автор:

Профессор кафедры микроэлектроники
и общей физики, д.ф.-м.н.

С.П. Зимин

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины
«Практикум по технологии интегральных систем»**

**Фонд оценочных средств
для проведения текущего контроля успеваемости
и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине**

**1. Типовые контрольные задания и иные материалы,
используемые в процессе текущего контроля успеваемости**

Контрольные вопросы, используемые при защите лабораторных работ

Лабораторная работа 1:

1. Какие параметры полупроводниковых пластин контролируются в данной работе?
2. Назначение базового и дополнительных срезов в Si пластине?
3. Чем диктуются высокие требования к контролю допусков на геометрические параметры кремниевых пластин?
4. Как определить тип проводимости полупроводниковой пластины?
5. Как контролируется прогиб пластины?

Лабораторная работа 2:

1. Какие существуют методы определения кристаллографической ориентации экспериментальных образцов?
2. Почему при обработке в селективном травителе ямки травления имеют разную форму?
3. Почему ямки травления отождествляют с местами выхода дислокаций?
4. Как по ГОСТовским рекомендациям рассчитать плотность дислокаций?

Лабораторная работа 3:

1. Какие методики существуют для измерения величины удельного сопротивления в полупроводниковых образцах?
2. Физические основы четырехзондового метода?
3. Требования к геометрическим размерам?
4. Объясните наличие нескольких формул при вычислении удельного сопротивления?
5. Объясните зависимость поправочных коэффициентов от геометрических размеров.
6. Достоинства и недостатки четырехзондового метода?

Лабораторная работа 4:

1. Профиль распределения примеси при диффузионных процессах? Что такое поверхностная концентрация?
2. Как определить глубину залегания p-n перехода?
3. Опишите метод шар-шлифа.
4. Расскажите о методике анализа диффузионных слоев при помощи электрических измерений.
5. Почему в данной работе надо знать тип проводимости исходной подложки?

Лабораторная работа 5:

1. Что такое омические и выпрямляющие контакты в микроэлектронике?
2. Свойства омических контактов?

3. Какие методы существуют для определения омичности контактов?
4. Какой метод используется в данной работе?
5. Требования к геометрии образцов?
6. Что влияет на величину переходного сопротивления контакта металл-полупроводник?

Лабораторная работа 6:

1. Опишите физические основы метода Ван-дер-Пау.
2. Требования к образцам и контактам?
3. Порядок проведения измерений?
4. Достоинства и недостатки метода в сравнении с другими методиками?

Лабораторная работа 7:

1. Что такое величина пористости у пористых материалов?
2. Какая теоретическая связь между пористостью и диэлектрической проницаемостью в пористых материалах?
3. Проанализируйте толщины пленок пористого кремния в данной работе.
4. Почему мы отождествляем емкость измеренной структуры с емкостью слоя пористого кремния?

Лабораторная работа 8:

1. Физическая основа цветового метода определения толщины пленок SiO₂?
2. Как определить порядок интерференции?
3. Проанализируйте толщины пленок диоксида кремния, полученные в данной работе?
4. Применимы ли таблицы цветового метода для SiO₂ к слоям нитрида кремния?

Правила защиты лабораторных работ

При выполнении лабораторного цикла студент обязан представить для защиты отчеты по лабораторным работам в соответствии с утвержденными рекомендациями кафедры и ГОСТовскими требованиями по составлению научных отчетов. Отчеты должны содержать название работы, применяемое оборудование и стенды, краткий литературный обзор, экспериментальный материал в виде таблиц и графических зависимостей, выводы по работе. В процессе защиты лабораторной работы студент должен показать уверенное владение теоретическим материалом, методикой проведения каждого эксперимента, умение и навыки проведения экспериментальных измерений на автоматизированных стендах, владение приемами машинной обработки экспериментальных данных при изучении пленочных систем. Преподаватель считает работу сданной, если у него в ходе индивидуального обсуждения нет претензий к студенту по теоретическому блоку, блоку экспериментальных исследований и сделанными обучающимся выводами по работе. В случае наличия претензий отчет направляется на доработку.

2. Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Список заданий к зачету

На зачете проверяется сформированность компетенций ПК-2 в части, касающейся диагностики и экспериментального определения параметров изделий электроники с учетом понимания физических процессов технологии интегральных схем. Зачет выставляется по результатам выполнения лабораторных работ и их защиты. Для получения зачета необходимы выполнение и защита 6 лабораторных работ.

Приложение №2 к рабочей программе дисциплины «Практикум по технологии интегральных систем»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Основной формой изложения учебного материала по дисциплине **«Практикум по технологии интегральных и низкочастотных систем»** являются лабораторные работы, которые имеют как классический, так и поисковый характер. Выполнение лабораторного практикума решает задачи приобретения умений и навыков использования современной приборной и аналитической базы. При защите лабораторных работ особое внимание уделяется логически правильной методике проведения эксперимента, умению планировать различные его составные части. Отчеты по лабораторным работам выполняются в полном соответствии с правилами составления отчетов в лабораториях физического факультета ЯрГУ. Важным элементом является комплексный анализ полученных результатов с указанием ошибок в определении физических величин.

Для проверки и контроля усвоения теоретического материала, приобретенных практических навыков работы в течение обучения проводятся мероприятия текущей аттестации в виде дискуссии в ходе выполнения самостоятельных работ (в аудитории) в процессе лабораторных занятий в семестре. Отдельным методом контроля является проверка знаний при защите лабораторных заданий. Также проводятся консультации (при необходимости) по разбору вопросов, которые вызвали затруднения. Приемка отчетов по лабораторным работам проводится в форме собеседования, где обсуждаются вопросы теоретического и экспериментального плана. Освоить вопросы, излагаемые в процессе изучения дисциплины **«Практикум по технологии интегральных систем»** самостоятельно студенту крайне сложно. Это связано с необходимостью выполнения заданий на экспериментальных установках. Поэтому посещение всех аудиторных занятий является совершенно необходимым

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине

Для самостоятельной подготовки к лабораторным работам рекомендуется использовать учебную литературу с подробным справочным материалом. К таким можно отнести следующие издания:

1. Зимин С.П. Методы контроля технологических процессов в электронике. Методические указания по выполнению лабораторных работ. ЯрГУ, 2005
2. Зимин С.П. Измерение параметров пленочных структур. МУ, ЯрГУ, 2004
3. Зимин С.П., Горлачев Е.С. Физические процессы в тонких пленках: практикум. Ярославль: ЯрГУ, 2016