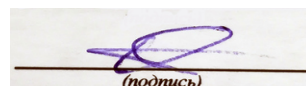


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Базовая кафедра нанотехнологий в электронике в ЯФ ФГБУН  
«Физико-технологический институт» РАН

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физического факультета



(подпись)

И.С.Огнев

« 23 » мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**«Спецпрактикум (нанотехнологии в электронике)»**

Направление подготовки  
11.04.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль)  
«Интегральная электроника и наноэлектроника»

Форма обучения  
очная

Программа одобрена  
на заседании кафедры  
от «30» марта 2023 года, протокол № 8

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

Ярославль

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины являются знакомство с основными методами создания структур микро- и нанoeлектроники с применением термических обработок. Изучение методов контроля, применяющихся при исследовании структур микро- и нанoeлектроники, а также получение практических навыков, необходимых для работы с соответствующим технологическим оборудованием, которые могут быть использованы в дальнейшей самостоятельной работе.

## 2. Место дисциплины в структуре ОП магистратуры

Данная дисциплина является дисциплиной по выбору и относится к вариативной части. Изучается после прохождения основных дисциплин Общенаучного цикла, параллельно с Компьютерными технологиями в научных исследованиях. При изучении широко используются знания, умения и практические навыки указанных дисциплин.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОП магистратуры

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ОП 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
<b>Профессиональные компетенции</b>		
ПК-7 Готов определять цели, осуществлять постановку задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ.	ИД_ПК-7.1. Знает схемы и устройства изделий микро- и нанoeлектроники различного функционального назначения.  ИД_ПК-7.2. Осуществляет подготовку технического задания на выполнение проектных работ.  ИД_ПК-7.3. Обладает навыками разработки архитектуры изделий микро- и нанoeлектроники.	<i>Знать:</i> <ul style="list-style-type: none"><li>Конструкцию, технические характеристики, принципы и режимы работы ионных импланторов и систем диффузионных.</li></ul> <i>Уметь:</i> <ul style="list-style-type: none"><li>представлять и интерпретировать полученные результаты.</li></ul> <i>Владеть навыками:</i> <ul style="list-style-type: none"><li>проведения контрольных измерений в реальном времени в различных установках</li></ul>
ПК-8 Способен проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований.	ИД_ПК-8.1. Знает принципы подготовки технических заданий на современные электронные устройства.  ИД_ПК-8.2. Имеет навыки разработки и проектирования приборов и систем электронной техники.	<i>Знать:</i> <ul style="list-style-type: none"><li>Требования к технике безопасности при работе с системами диффузионными и ионными импланторами.</li></ul> <i>Уметь:</i> <ul style="list-style-type: none"><li>получать легированные полупроводниковые и диэлектрические слои с помощью методов ионной</li></ul>

		имплантации и термической диффузии. <i>Владеть навыками:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>практической работы на установках СДОМ и «Везувий».</li> </ul>
--	--	--

#### 4. Объем структура и содержание дисциплины Спецпрактикум (нанотехнологии в электронике)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных 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)
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Формирование диэлектрических пленок на полупроводниковых пластинах	2			12	1		10	Отчёт по лабораторной работе
2	Технология получения легированных слоев методами термической диффузии.	2			12	1		10	Отчёт по лабораторной работе
3	Технология получения ионно-легированных структур в производстве ИМС.	2			12	2		10	Отчёт по лабораторной работе
							0,3	1,7	Зачет
	Всего за 2 семестр 72 часа				36	4	0,3	31,7	
	Итого				36	4	0,3	31,7	

#### Содержание разделов дисциплины:

##### 1. Формирование диэлектрических пленок на полупроводниковых пластинах

- 1.1. Конструктивно-технологические функции диэлектрических пленок в ИМС.
- 1.2. Формирование пленок диоксида кремния термическим окислением кремния.
- 1.3. Другие методы получения диэлектрических пленок.
- 1.4. Параметры качества диэлектрических пленок.
- 1.5. Типовое технологическое оборудование для получения диэлектрических пленок.

##### 2. Технология получения легированных слоев методами термической диффузии.

- 2.1. Основы процессов диффузии.
- 2.2. Влияние технологических факторов на процесс диффузии.
- 2.3. Характеристики диффузантов применяемых в технологии ИМС.

- 2.4. Технология диффузионных процессов получения легированных слоев в полупроводниковых пластинах.
- 2.5. Типовое технологическое оборудование для диффузионных процессов.

### **3. Технология получения ионно-легированных структур в производстве ИМС.**

- 3.1. Общие принципы процесса ионного легирования.
- 3.2. Влияние радиационных дефектов на структуру полупроводников.
- 3.3. Отжиг дефектов и электрические свойства ионно-легированных слоев.
- 3.4. Влияние технологических факторов на параметры качества ионно-легированных слоев.
- 3.5. Технология маскирования в процессе ионного легирования.
- 3.6. Типовое технологическое оборудование для ионного легирования.

## **5. Образовательные технологии**

Основной образовательной технологией являются лабораторные занятия и компьютерный практикум.

Предполагается также практическая реализация концепции проблемного обучения. Проблемное обучение представляет собой систему методов и средств обучения, направленных на моделирование реального творческого процесса путем создания проблемной ситуации и управления поиском решения проблемы. Усвоение новых знаний при этом происходит как самостоятельное открытие их студентами с помощью преподавателя. Для этого необходимо действие двух факторов:

- 1. Возникновение познавательной потребности, локализуемой в определенном учебном материале;
- 2. Овладение новыми обобщенными знаниями, необходимыми для выполнения определенных задач.

Система проблемного обучения включает в себя информационные, не требующие творческой активности личности, и тренировочные, включающие повторение действия и контроль успешности выполнения, этапы обучения.

В процессе обучения студенты вовлекаются в решение поставленных проблем (теоретического или практического характера). В силу различия креативных и когнитивных способностей студентов, опыта, особенностей личностного характера и приобретенных навыков для каждого из студентов выбирается индивидуальный темп освоения учебного материала в рамках отдельных тем. Активная форма проведения лабораторных занятий (анализ постановки задачи, обсуждение возможных методов решения, привлечение студентов к решению задач на доске, анализ полученных результатов).

В процессе обучения предусматривается широкое использование образовательных Интернет-ресурсов.

## **6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

В процессе осуществления образовательного процесса используются:

Windows Pro 7 RUS

Microsoft Office Std 2013

– для поиска учебной литературы библиотеки ЯрГУ – Автоматизированная библиотечная информационная система "БУКИ-NEXT" (АБИС "Буки-Next").

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

#### **а) основная литература**

1. Черняев В.Н. Технология микросхем и микропроцессоров.- М.: Радио и связь. 1987.

#### **б) дополнительная литература**

1. Готра З.Ю. Технология микроэлектронных устройств.- М.: Радио и связь. 1991. 2. Профилометр модели 130. Паспорт130..0.01-ПС. ОАО «Завод Протон – МИЭТ» М.: 2007.
2. Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии. – М.: Мир. 1985.

#### **в) ресурсы сети «Интернет»**

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ ([http://www.lib.uni Yar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uni Yar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)).
2. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" (<http://www.edu.ru> (раздел Учебно-методическая библиотека) или по прямой ссылке <http://window.edu.ru/library>).
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online» ([www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru) ).

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

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, хранящиеся на электронных носителях и обеспечивающие тематические иллюстрации, соответствующие рабочим программам дисциплин.

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 лекционной аудитории больше либо равно списочному составу группы обучающихся.

Автор(ы) :

Доцент базовой кафедры нанотехнологий  
в электронике, кандидат ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ С.А. Кривелевич

**Приложение №1 к рабочей программе дисциплины**  
**« Спецпрактикум (нанотехнологии в электронике) »**  
(наименование дисциплины)

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

**Типовые контрольные задания и иные материалы,**  
**используемые в процессе текущей аттестации**

1. Конструктивно – технологические функции диэлектрических пленок в ИМС.
2. Формирование пленок диоксида кремния термическим окислением кремния.
3. Технология плазмохимического осаждения диэлектрических пленок. Параметры качества диэлектрических пленок. Типовое технологическое оборудование для получения диэлектрических пленок
4. Технология термовакuumного осаждения тонких пленок на поверхность кремния.
5. Параметры качества диэлектрических пленок.
6. Типовое технологическое оборудование для получения диэлектрических пленок.
7. Основы процессов диффузии.
8. Влияние технологических факторов на процесс диффузии.
9. Характеристики диффузантов применяемых в технологии ИМС.
10. Технология диффузионных процессов получения легированных слоев в полупроводниковых пластинах.
11. Типовое технологическое оборудование для диффузионных процессов.
12. Общие принципы процесса ионного легирования.
13. Влияние радиационных дефектов на структуру полупроводников.
14. Отжиг дефектов и электрические свойства ионно-легированных слоев.
15. Влияние технологических факторов на параметры качества ионно-легированных слоев.
16. Технология маскирования в процессе ионного легирования.
17. Типовое технологическое оборудование для ионного легирования.

На зачете проверяется сформированность компетенции ПК-7 (индикаторы ИД\_ПК-7.1, ИД\_ПК-7.2 и ИД\_ПК-7.3) и ПК-8 (ИД\_ПК-8.1и ИД\_ПК-8.2). Зачет выставляется по результатам лабораторных отчётов.

**Правила выставления оценки**

В зависимости от уровня сформированности каждой компетенции по окончании освоения дисциплины студенту выставляется оценка.

Оценка «зачет» выставляется студенту, у которого каждая компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована не ниже, чем на пороговом уровне.

Оценка «незачтено» выставляется студенту, у которого хотя бы одна компетенция (полностью или частично формируемая данной дисциплиной) сформирована ниже, чем на пороговом уровне.

Код компетенции	Форма контроля	Этапы формирования (№ темы (раздела))	Показатели оценивания	Шкала и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования		
				Пороговый уровень	Продвинутый уровень	Высокий уровень
Профессиональные компетенции						
ПК-7	Зачет	1-4	<p><i>Знать:</i> Конструкцию, технические характеристики, принципы и режимы работы ионных импланторов и систем диффузионных.</p> <p><i>Уметь:</i> представлять и интерпретировать полученные результаты.</p> <p><i>Владеть навыками:</i> проведения контрольных измерений в реальном времени в различных установках</p>	<p>1. Знание конструкции, технических характеристик, принципов и режимов работы ионных импланторов и систем диффузионных.</p> <p>2. Умение представлять и интерпретировать полученные результаты.</p> <p>3. Владение навыками проведения контрольных измерений в реальном времени в различных установках</p>	<p>1. Знание конструкции, технических характеристик, принципов и режимов работы ионных импланторов и систем диффузионных. Конструктивно – технологические функции диэлектрических пленок в ИМС</p> <p>2. Умение представлять и интерпретировать полученные результаты. Формирование пленок диоксида кремния термическим окислением кремния.</p> <p>3. Владение навыками проведения контрольных измерений в реальном времени в различных установках</p> <p>Типовое технологическое оборудование для диффузионных процессов.</p>	<p>1. Знание конструкции, технических характеристик, принципов и режимов работы ионных импланторов и систем диффузионных. Конструктивно – технологические функции диэлектрических пленок в ИМС</p> <p>Основы процессов диффузии и ионной имплантации.</p> <p>2. Умение представлять и интерпретировать полученные результаты. Формирование пленок диоксида кремния термическим окислением кремния. Отжиг дефектов и электрические свойства ионно-легированных слоев.</p> <p>3. Владение навыками проведения контрольных измерений в реальном времени в различных установках</p> <p>Типовое технологическое оборудование для диффузионных процессов. Технология маскирования в</p>

						процессе ионного легирования.
ПК-8	Зачет	1-4	<p><i>Знать:</i> Требования к технике безопасности при работе с системами диффузионными и ионными имплантаторами.</p> <p><i>Уметь:</i> получать легированные полупроводниковые и диэлектрические слои с помощью методов ионной имплантации и термической диффузии.</p> <p><i>Владеть навыками:</i> практической работы на установках СДОМ и «Везувий».</p>	<p>1. Знание требований к технике безопасности при работе с системами диффузионными и ионными имплантаторами.</p> <p>2. Умение получать легированные полупроводниковые и диэлектрические слои с помощью методов ионной имплантации и термической диффузии.</p> <p>3. Владение навыками практической работы на установках СДОМ и «Везувий».</p>	<p>1. Знание требований к технике безопасности при работе с системами диффузионными и ионными имплантаторами.</p> <p>Конструктивно – технологические функции диэлектрических пленок в ИМС</p> <p>2. Умение получать легированные полупроводниковые и диэлектрические слои с помощью методов ионной имплантации и термической диффузии.</p> <p>Формирование пленок диоксида кремния термическим окислением кремния.</p> <p>3. Владение навыками практической работы на установках СДОМ и «Везувий».</p> <p>Типовое технологическое оборудование для диффузионных процессов.</p>	<p>1. Знание требований к технике безопасности при работе с системами диффузионными и ионными имплантаторами.</p> <p>Конструктивно – технологические функции диэлектрических пленок в ИМС.</p> <p>Основы процессов диффузии и ионной имплантации.</p> <p>2. Умение получать легированные полупроводниковые и диэлектрические слои с помощью методов ионной имплантации и термической диффузии.</p> <p>Формирование пленок диоксида кремния термическим окислением кремния. Отжиг дефектов и электрические свойства ионно-легированных слоев.</p> <p>3. Владение навыками практической работы на установках СДОМ и «Везувий».</p> <p>Типовое технологическое оборудование для диффузионных процессов.</p> <p>Технология маскирования в процессе ионного легирования.</p>



**Приложение №2 к рабочей программе дисциплины**  
**« Спецпрактикум (нанотехнологии в электронике) »**  
*(наименование дисциплины)*

**Методические указания для студентов по освоению дисциплины**

Самостоятельная работа студента по дисциплине, включая контролируемые формы, рассчитана на 30 часов в течение учебного семестра. Самостоятельная работа в течение семестра предусматривает подготовку к выполнению лабораторных работ. Оформление отчетов по лабораторным работам в соответствии с установленными правилами. Подготовка к зачету в 2 семестре предусматривает изучение рекомендованной литературы, групповые и индивидуальные консультации.

**Учебно-методическое обеспечение  
самостоятельной работы студентов по дисциплине**

**а) основная литература**

1. Черняев В.Н. Технология микросхем и микропроцессоров.- М.: Радио и связь. 1987.

**б) дополнительная литература**

1. Готра З.Ю. Технология микроэлектронных устройств.- М.: Радио и связь. 1991. 2. Профилометр модели 130. Паспорт130..0.01-ПС. ОАО «Завод Протон – МИЭТ» М.: 2007.
2. Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии. – М.: Мир. 1985.

**в) ресурсы сети «Интернет»**

1. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ  
([http://www.lib.uni Yar.ac.ru/opac/bk\\_cat\\_find.php](http://www.lib.uni Yar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php)).
2. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"  
(<http://www.edu.ru> (раздел Учебно-методическая библиотека) или по прямой ссылке <http://window.edu.ru/library>).
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»  
([www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru) ).