



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФГБОУ ВО «ИГУ»  
Кафедра общей и экспериментальной физики



**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины (модуля): Б1.О.21 Процессы микро- и нанотехнологий

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль) подготовки: Электроника и наноэлектроника

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Согласовано с УМК:  
физического факультета  
Протокол № 33  
от «31» марта 2022 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор  
Н.М.Буднев

Рекомендовано кафедрой:  
общей и экспериментальной физики  
Протокол № 6  
от «24» марта 2022 г.

Зав.кафедрой д.ф.-м.н.  
А.А.Гаврилюк

Иркутск 2022 г.

## Содержание

	Стр.
1. Цели и задачи дисциплины (модуля)	3
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)	3
4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы	5
5. Содержание дисциплины (модуля)	5
5.1 Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)	6
5.2 Разделы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами (модулями)	9
5.3 Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий	9
6. Перечень практических занятий.	11
6.1 План самостоятельной работы студентов	8
6.2 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.	9
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)	11
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):	12
а) основная литература;	11
б) дополнительная литература;	11
в) программное обеспечение;	13
г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы	13
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля).	13
10. Образовательные технологии	13
11. Оценочные средства (ОС).	13

### 1. Цели и задачи дисциплины (модуля):

#### Цель дисциплины:

Дисциплина предусмотрена учебным планом с целью формирования у студентов знаний о физико-химических основах базовых технологических процессов, применяемых при производстве микроэлектронных приборов с микронными и субмикронными размерами активных областей и рабочих слоев, а также знаний об основах проектирования технологических циклов производства простейших микроэлектронных структур.

**Задачи дисциплины:**

Основной задачей дисциплины является привитие навыков самостоятельной разработки технологии изготовления различных микроэлектронных структур, изучение процесса разработки эскизов шаблонов для фотолитографии, разработки последовательности технологических операций изготовления микроэлектронной структуры, включая методы изоляции. развитие у студентов общих представлений о физических основах технологии производства изделий электроники

**2. Методисциплины в структуре ОПОП:**

Дисциплина “ Процессы микро- и нанотехнологий ” является дисциплиной профессионального цикла и относится к основной части. Код учебного цикла Б1.

Дисциплина “ Процессы микро- и нанотехнологий “ опирается на математическую дисциплину ”Математический анализ”, “ Физическая химия материалов”.

Освоение дисциплины необходимо для освоения курсов ” Применение материалов и компонентов для создания электронных устройств ”, “ Современные направления развития физического материаловедения”, “Основы проектирования электронной компонентной базы”.

**3. Компетенции (дескрипторы компетенций), формируемые в процессе изучения дисциплины (курс 3 семестр б):**

Индекс и Наименование компетенции (в соответствии с ФГОС ВО (ВПО))	Признаки проявления компетенции/ дескриптора (ов) в соответствии с уровнем формирования в процессе освоения дисциплины
ПК-4 способностью к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-основные сведения о классификации наноразмерных структур, их особенностях;</li> <li>-механизмы переноса электронов в наноразмерных структурах;</li> <li>- технологии, позволяющие формировать приборные структуры</li> </ul>

<p>средств и методов</p>	<p>нанoeлектроники их использование при конструировании элементов электронной техники;</p> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в наноразмерных рабочих элементах электронных устройств;</li> <li>-оценивать физические параметры наноразмерных (проводимость, термодинамические функции, дефектообразование) по экспериментальным данным;</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-методами квантово-механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав наноразмерных элементов электроники, способами расчетов физических характеристик наноразмерных гетероструктур.</li> </ul>
<p>ПК-1</p> <p>готовностью формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и нанoeлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач</p>	<p><b>Знать-</b> основные свойства полупроводниковых, диэлектрических и проводящих материалов; физические и физико - химические основы технологии материалов микро- и нанoeлектроники; иметь представление об особенностях объектов микро- и нанoeлектроники.</p> <p><b>Уметь:</b>применять методы измерения электрофизических параметров; оценивать пределы применимости квазиклассического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в элементах микро- и нанoeлектроники;в ходе микроминиатюризации последних; обеспечивать адекватный выбор и технологическую реализацию процессов для создания приборов и устройств микро- и нанoeлектроники;</p> <p><b>Владеть:</b> методами обработки и оценки погрешности измерений электрофизических параметров микроэлектронных элементов; методами квантово - механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов микро- и нанoeлектроники; методами экспериментальных исследований параметров и характеристик изделий микро- и нанoeлектроники</p>
<p>ПК-5</p> <p>способностью делать научно-</p>	<p><b>Знать-</b> основные свойства полупроводниковых, диэлектрических и проводящих материалов; физические и физико - химические основы технологии материалов микро- и</p>

<p>обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, готовить научные публикации и заявки на изобретения</p>	<p>нанoeлектроники; иметь представление об особенностях объектов микро- и нанoeлектроники.</p> <p><b>Уметь:</b> применять методы измерения электрофизических параметров; оценивать пределы применимости квазиклассического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в элементах микро- и нанoeлектроники; в ходе микроминиатюризации последних; обеспечивать адекватный выбор и технологическую реализацию процессов для создания приборов и устройств микро- и нанoeлектроники;</p> <p><b>Владеть:</b> методами обработки и оценки погрешности измерений электрофизических параметров микроэлектронных элементов; методами квантово - механического описания простейших квантовых систем, входящих в состав элементов микро- и нанoeлектроники; методами экспериментальных исследований параметров и характеристик изделий микро- и нанoeлектроники</p>
---	---

#### 4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (разделяется по формам обучения)

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц	Семестры
		6
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	56	56
Лекции:	18	18
Практические занятия (ПЗ)	38	38
Контроль самостоятельной работы	0	0
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	52	52
В том числе:	-	-
Реферат (при наличии)	20	20
<i>Другие виды самостоятельной работы</i>	27	27
<i>Контрольная работа</i>	5	5
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	Зачет	Зачет
Общая трудоемкость	108	108
ЗЕТ	3	3

#### 5. Содержание дисциплины (модуля).

5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля). Все разделы и темы нумеруются.

### **Тема 1. Классификация технологических процессов МЭ производства.**

Классификация и характеристика основных технологических процессов производства изделий микроэлектроники. Особенности микро- и нанoeлектронной технологии.

Тенденции и основные особенности развития современной технологии МЭ. Базовые технологические процессы МЭ.

### **Тема 2. Технологические процессы формирования тонкопленочных покрытий.**

Общие понятия о пленочных покрытиях, их классификация и характеристика.

Методы получения ТПП.

Физико-химические основы, технология и области применения методов вакуумно-термического испарения, ионно-плазменного распыления и термохимического осаждения ТПП. Практические способы формирования тонких и сверхтонких покрытий. Физико-химические основы, технология и области применения процессов термического окисления полупроводников. Практические методы получения защитных, сверхтоlstых и подзатворных диэлектриков Физико-химические основы, технология и области применения процессов анодного и ионно-плазменного окисления. Технология получения туннельно-тонких окисных пленок.

Физико-химические основы и технология эпитаксиального наращивания монокристаллических пленок. Молекулярная эпитаксия.

### **Тема 3. Технологические процессы легирования полупроводников.**

Физико-химические основы и технология процессов объемного и поверхностного легирования полупроводников. Физика и математика диффузии. Диффузионные источники и методы проведения диффузионных процессов. Одно- и двухстадийные процессы диффузии.

Методы легирования ионной имплантацией. Распределение имплантированных ионов. Преимущества и недостатки имплантации. Области применения метода. Технология формирования сверхтонких и слаболегированных слоев.

Практические методы диффузионного легирования и ионной имплантации. Сравнительный анализ методов. Методы локального легирования. Области применения методов диффузионного легирования и ионной имплантации.

#### **Тема 4. Технологические процессы формирования топологии МЭ структур методами локальной микрообработки.**

*Основные понятия и определения, классификация методов локальной микрообработки. Фотолитография, электролитография, ионлитография и рентгенолитография.*

Физико-химические основы фотохимических методов обработки. Фоторезисты и их свойства.

Технологическая схема процесса фотолитографии. Назначение, физическая сущность и технология основных этапов процесса фотолитографии.

Трафаретные и лучевые методы локальной микрообработки: проекционная и контактная оптическая фотолитография, электролитография.

#### **Тема 5. Технологические процессы получения межсоединений в МЭ приборах.**

Классификация методов получения межсоединений в технологии МЭ, их характеристика и области применения.

Дискретные методы получения межсоединений. Технология процессов термокомпрессионной, ультразвуковой и электроконтактной микросварки.

Интегральные методы получения межсоединений. Физические основы и технология процесса металлизации. Технология получения многослойных структур металл-диэлектрик.

#### **Тема 6. Технология изоляции элементов ИМС.**

Методы изоляции рп-переходом, диэлектрическая изоляция и комбинированные методы изоляции элементов ИМС. *3D*- и *ПЭТ*-технологии, их особенности, преимущества, недостатки и области применения. Технология получения *КНС*-структур и *ЭПИК*-технология изоляции. Особенности и области применения диэлектрических методов изоляции. *LOCOS* и *PLANOX* –технологии изоляции

элементов микросхем. Технология щелевой изоляции – *TRENCH*-технология. Преимущества, недостатки и области применения методов.

### **Тема 7. Технологические схемы производства МЭ структур.**

Практическая разработка топологии элементов ИМС с микронными и субмикронными размерами. Разработка комплекта фотошаблонов для заданной топологии активных или пассивных компонентов ИМС.

Разработка технологических схем производства простейших микро- и нанoeлектронных структур с различными методами изоляции. Выбор последовательности технологических процессов и технологических режимов получения металлических, полупроводниковых и диэлектрических слоев.

Разработка технологии получения сильно и слаболегированных, а также тонких и сверхтонких полупроводниковых слоев.

Расчет параметров распределения легирующей примеси в активных областях полупроводниковых структур.

Самостоятельная разработка топологии, комплекта шаблонов и технологии изготовления заданных микроэлектронных структур. Написание и оформление курсовой работы на ЭВМ с использованием современных текстовых и графических редакторов.

### **Тема 8. Заключительная лекция.**

Современные тенденции развития микроэлектронной технологии. Способы увеличения быстродействия и степени интеграции



## 5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин (вписываются разработчиком)								
		1	2	3	4	5	6			
1.	Материалы электронной техники									
2.	Методы исследования материалов и структур	1	2	3	4	5	6			

## 5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела	Наименование темы	Виды занятий в часах			
			Лекц.	ПЗ	СРС, КСР	Всего
1.	1.Классификация технологических процессов МЭ производства.	1.1 Классификация и характеристика основных технологических процессов производства изделий микроэлектроники. Особенности микро- и нанoeлектронной технологии. Тенденции и основные особенности развития современной технологии МЭ. Базовые технологические процессы МЭ		4	2	6
2.	2. Технологические процессы формирования тонкопленочных покрытий	2.1 Общие понятия о пленочных покрытиях, их классификация и характеристика. Методы получения ТПП. 2.2 Физико-химические основы, технология и области применения процессов термического окисления полупроводников. Практические методы получения защитных, сверхтолстых и подзатворных диэлектриков Физико-химические основы, технология и области применения процессов анодного и ионно-плазменного окисления. Технология получения туннельно-тонких окисных пленок. Физико-химические основы и технология эпитаксиального наращивания монокристаллических пленок. Молекулярная эпитаксия.		8	4	12
3	3.Технологические процессы легирования полупроводников.	3.1 Физико-химические основы и технология процессов объемного и поверхностного легирования полупроводников. Физика и математика диффузии. Диффузионные источники и методы проведения диффузионных процессов. Одно- и		4	1,5	5,5

		двухстадийные процессы диффузии.				
4.	4. Технологические процессы формирования топологии МЭ структур методами локальной микрообработки.	4. Основные понятия и определения, классификация методов локальной микрообработки. Фотолитография, электролитография, ионолитография и рентгенолитография. Физико-химические основы фотохимических методов обработки. Фоторезисты и их свойства. Технологическая схема процесса фотолитографии. Назначение, физическая сущность и технология основных этапов процесса фотолитографии. Трафаретные и лучевые методы локальной микрообработки: проекционная и контактная оптическая фотолитография, электролитография.		8	4	12
5.	4. Технологические процессы получения межсоединений в МЭ приборах.	5.1 Электропроводность металлов, время релаксации, Уравнение Больцмана. Электропроводность собственных и примесных полупроводников, температурная зависимость. Механизмы рассеяния носителей заряда. 5.2 Классификация методов получения межсоединений в технологии МЭ, их характеристика и области применения. Дискретные методы получения межсоединений. Технология процессов термокомпрессионной, ультразвуковой и электроконтактной микросварки. Интегральные методы получения межсоединений. Физические основы и технология процесса металлизации. Технология получения многослойных структур металл-диэлектрик..		8	4	12
6.	6. Технологические схемы производства МЭ структур.	6.1 Практическая разработка топологии элементов ИМС с микронными и субмикронными размерами. Разработка комплекта фотошаблонов для заданной топологии активных или пассивных компонентов ИМС. Разработка технологических схем производства простейших микро- и нанoeлектронных структур с различными методами изоляции. Выбор последовательности технологических процессов и технологических режимов получения металлических, полупроводниковых и диэлектрических слоев		6	2,5	8,5
<b>Всего:</b>				<b>38</b>	<b>18</b>	<b>56</b>

### 6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1.	Тема 1 Раздел 1.1	Решение и разбор задач по теме.	4	Контрольная работа.	ПК1
2.	Тема 2 Разделы 2.1-2.2	Решение и разбор задач по теме.	8	Контрольная работа.	ПК4
3.	Тема 3 Раздел 3.1	Решение и разбор задач по теме.	4	Контрольная работа.	ПК4
4.	Тема 4 Разделы 4.1-4.3	Решение и разбор задач по теме.	8	Контрольная работа.	ПК5
5.	Тема 5 Разделы 5.1-5.3	Решение и разбор задач по теме.	8	Контрольная работа.	ПК5
6.	Тема 6 Разделы 6.1-6.2	Решение и разбор задач по теме.	6	Контрольная работа.	ПК1

### 7. Примерная тематика заданий для самостоятельной работы (реферат)

1. Классификация процессов микро- и нанотехнологии по физико-химической сущности: механический, термический, химический, корпускулярно-полевой; виду процесса: нанесение, удаление, модифицирование; характеру протекания процессов: тотальный, локальный, селективный, избирательный, анизотропный; способу активации: тепло, излучение, поле.
2. Системный подход к управлению качеством.
3. Виды термического и корпускулярно-лучевого воздействий: резистивный, лучистый и индукционный нагрев, электронные и лазерные пучки, плазма и ионные пучки.
4. Интегрированные технологические кластерные комплексы: минифабрики, нанотехнологические комплексы на основе туннельно-полевого массопереноса и модифицирования. Виды термического и корпускулярно-лучевого воздействий: резистивный, лучистый и индукционный нагрев, электронные и лазерные пучки, плазма и ионные пучки.
5. Каталитические свойства поверхности и атомно-силовое воздействие.

6. Самоформирование: интеграция физико-химических процессов на основе топохимической селективности поверхности, структурно-топологические операции на основе анизотропии, маски дифференциального действия, принцип матрицы.
7. Чистые помещения: классификация производственных помещений по чистоте воздушной среды и микроклимату, источники загрязнений, способы обеспечения и поддержания чистоты.
8. Физико-технологические и экономические ограничения миниатюризации и интеграции.
9. Вакуум: глубина вакуума, средства откачки и методы контроля.
10. Сборка микроэлектронных устройств: монтаж кристаллов, термокомпрессия, ультразвуковая микросварка, пайка выводов; оборудование для микросборки; беспроводный монтаж.
11. Оборудование и методы нанесения вещества в вакууме из молекулярных пучков: вакуум-термическое и электронно-лучевое испарение, молекулярно-лучевая эпитаксия.
12. Оборудование и методы ионно-плазменного осаждения: катодное, магнетронное, реактивное распыления; ионно- и плазмохимическое осаждение.
13. Классификация базовых методов литографии: фото-, рентгено-, электроно- и ионолитография.
14. Оборудование и методы осаждения из газовой фазы: получение поликристаллического и аморфного гидрогенизированного кремния, оксида и нитрида кремния; пиролитическое осаждение металлов; газофазная эпитаксия кремния, бинарных и многокомпонентных соединений.
15. Литографический цикл: резисты и способы их нанесения, позитивные, негативные, жидкие и сухие резисты; методы повышения адгезии, плазмостойкости; планаризация, предэкспозиционная обработка, проявление и сушка.
16. Оборудование и методы осаждения из жидкой фазы: жидкофазная эпитаксия, электрохимическое осаждение слоев.
17. Фотошаблоны. Аппаратура и способы совмещения и экспонирования. Пространственное разрешение.
18. Эволюция процессов экспонирования: высокоэффективные источники дальнего ультрафиолета, оптическая литография с фазовым сдвигом.
19. Оборудование и методы окисления в газовой и жидких средах: высокотемпературное термическое сухое и влажное окисление, электрохимическое окисление.
20. Диффузия примесей: распределение примесей при диффузии, стадии загонки и разгонки примесей, оборудование и методы диффузии из газообразных, жидких и твердых источников.
21. Ионная имплантация: распределение примесей, оборудование и методы ионной имплантации.

#### **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):**

##### а) основная литература

1. Ефимов И.Е., Козырь И.Я. Основы микроэлектроники. Изд-во «Лань», 2008
2. Коваленко А.А. Основы микроэлектроники, 2010г.
3. Л.А. Коледов. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок. М.: Изд-во «Техносфера», 2009 г.

##### б) дополнительная литература

4. Дж.М.Мартинес- Дуарт, Р.Дж.Мартин- Палма, Ф. Агулло- Руеда. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники. Пер с англ. Техносфера, 2009,368 с.
5. Л.Фостер. Нанотехнологии, наука, инновации и возможности. М., Техносфера, с.348, 2008г.
6. Нанотехнологии. Наноматериалы. Наносистемная техника. Мировые достижения. Сборник под редакцией д.т.н., профессора П.П.Мальцева. Москва: Техносфера,2008. – 432с.
7. В.И.Галкин, В.Е.Пелевин. Промышленная электроника и микроэлектроника. Учебное пособие, М. ;Высшая школа, 2006 г. – 350с.
8. Гаврилюк А.А., Зубрицкий С.М., Петров А.Л.. Физика металлов и сплавов. Учебное пособие. Иркутск-2009, 93с.

*Сверено с №5 ЧИЗ*

в) Интернет источники:

научные публикации в реферативных журналах по актуальным проблемам физики магнитных явлений и магнитным материалам электроники Электронные версии журналов: “Физика твердого тела”, “Журнал технической физики”, “Письма в журнал технической физики”, “Физика и техника полупроводников” <http://journals.ioffe.ru>.  
[www.nanonewsnet.ru](http://www.nanonewsnet.ru) – Сайт о нанотехнологиях в России.  
[www.nanodigest.ru](http://www.nanodigest.ru) – Интернет журнал о нанотехнологиях  
[www.nano-info.ru](http://www.nano-info.ru) - Сайт о современных достижениях в области микро- и нанотехнологий  
[www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru) – Сайт нанотехнологического сообщества ученых, студентов и любознательных читателей  
[www.nano-portal.ru](http://www.nano-portal.ru) - Портал посвящен развитию нанотехнологий

г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы:

1. Книгафонд - библиотека онлайн чтения. [www.knigafund.ru](http://www.knigafund.ru)
2. ЭБС "Издательство Лань" <http://e.lanbook.com/>

**9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):**

Компьютерные презентации, программа для тестирования.

**10. Образовательные технологии:**

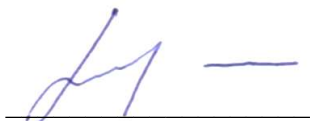
№ п/п	Виды учебной работы	Образовательные технологии
1.	Лекция	Вводная лекция, информация лекция, лекция с элементами дискуссии, интерактивная лекция (лекция диалог), информационная лекция с элементами обратной связи, информационная лекция с элементами проблемных ситуаций.
2.	Практическое занятие	Занятие – решение задач.

**11. Оценочные средства (ОС):**

- 11.1. Текущий контроль осуществляется в устной и письменной форме при выполнении студентами учебных заданий - решении задач и выполнении контрольных работ на протяжении всего курса.
- 11.2. Рубежный контроль проводится между модулями – тестирование.
- 11.3. Промежуточный контроль – подготовка реферата по теме из списка заданий для самостоятельной работы.
- 11.4. Итоговый контроль – зачет.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по профилю подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника. Материалы и компоненты твердотельной электроники».

**Разработчик:**



доцент А.Л.Петров.

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики

«24» марта 2022 г.

Протокол №6

Зав. кафедрой



д.ф.-м.н., профессор А.А.Гаврилюк

**Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.**