

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
электроники, фотоники и
молекулярной физики**

В.В. Иванов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Технология микроэлектроники на базе сложных полупроводниковых соединений
по направлению:	Электроника и нанoeлектроника
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: микро- и нанoeлектроника Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра микро- и нанoeлектроники
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Ю.Ф. Адамов, д-р техн. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры микро- и нанoeлектроники 29.05.2020

Аннотация

Курс "" предусматривает расширение профессионального кругозора и получения навыков анализа состояния научно-технических проблем, определяющих прогресс развития методов проектирования и технологии электронных средств, изучение последних достижений и обоснование оптимальных решений конструирования в области планарной технологии.

Задачи курса:

- приобретение студентами необходимых знаний в области конструкции и технологии микроэлектроники;
- освоение физико-химических основ типовых и специальных технологических операций и процессов и их творческое использование в разработках современных микросхем;
- формирование у студентов системного подхода к выбору обоснования оптимальных конструктивно-технологических решений;
- изучение дисциплины знакомит студентов с конструкторско-технологическими особенностями производства элементной базы современных электронных систем.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Технология микроэлектроники и микроэлектронные полупроводниковые приборы.
2. Монокристаллы и пластины.
3. Литография – процесс переноса изображения.
4. Легирование полупроводников (назначение процесса легирования и основные определения).
5. Интеграция технологических процессов в производственный маршрут изготовления микросхем.
6. Физические структуры микросхем на основе гетеропереходов соединений АЗВ5 и кремний-германий.
7. Процессы сборки и герметизации микросхем.
8. Корпуса для интегральных микросхем.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- расширение профессионального кругозора и получения навыков анализа состояния научно-технических проблем, определяющих прогресс развития методов проектирования и технологии электронных средств, изучение последних достижений и обоснование оптимальных решений конструирования в области планарной технологии.

Задачи дисциплины

- приобретение студентами необходимых знаний в области конструкции и технологии микроэлектроники;
- освоение физико-химических основ типовых и специальных технологических операций и процессов и их творческое использование в разработках современных микросхем;
- формирование у студентов системного подхода к выбору обоснования оптимальных конструктивно-технологических решений;
- изучение дисциплины знакомит студентов с конструкторско-технологическими особенностями производства элементной базы современных электронных систем.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценить качество разработанной модели

новые научные результаты

ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

современные научные проблемы в области конструирования и технологии электронных средств;

основные понятия, термины, определения, классификации по различным признакам, обозначения, области применения, характеристики планарной технологии;

конструкции, материалы, характеристики современных микросхем;

тенденции и перспективы развития планарной технологии;

основные виды технологической документации при разработке технологических процессов.

уметь:

анализировать проблемы в своей области деятельности;

правильно выбрать методы и средства реализации электронных средств;

самостоятельно следить за достижениями в области конструирования и технологии изготовления современных микросхем, а также эффективности производства и качества продукции;

пользоваться нормативно-технической документацией по конструированию, технологии сборки и оценки качества микросхем;

критически, самостоятельно оценить конструкцию микросхемы для автоматизации ее производства;

использовать средства ВТ и современные системы проектирования при разработке микросхем и технологических процессов для условий автоматизации.

владеть:

знаниями по перспективам развития конструирования и технологии электронных средств.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Технология микроэлектроники и микроэлектронные полупроводниковые приборы.	2	2		4
2	Монокристаллы и пластины.	2	2		4
3	Литография – процесс переноса изображения.	2	2		4
4	Легирование полупроводников (назначение процесса легирования и основные определения).	2	2		4
5	Интеграция технологических процессов в производственный маршрут изготовления микросхем.	2	2		4
6	Физические структуры микросхем на основе гетеропереходов соединений АЗВ5 и кремний-германий.	2	2		4

7	Процессы сборки и герметизации микросхем.	2	2		4
8	Корпуса для интегральных микросхем.	1	1		2
Итого часов		15	15		30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

1. Технология микроэлектроники и микроэлектронные полупроводниковые приборы.

Развитие полупроводниковой технологии. Принципы планарной технологии. Полупроводниковые материалы.

2. Монокристаллы и пластины.

Основные технологические процессы производства микросхем. Прогноз развития элементной базы микроэлектроники. Единство интегральной технологии и схемотехники. Интегральная схемотехника – продукт развития технологии. Принципы интегральной схемотехники.

3. Литография – процесс переноса изображения.

Фотолитография – ключевой процесс планарной технологии. Электронно-лучевая литография. Резисты – полимеры чувствительные к облучению. Эпитаксия полупроводниковых слоев. Эпитаксиальное выращивание слоев кремния из парогазовой фазы. Молекулярно-лучевая эпитаксия.

Процессы нанесения диэлектрических покрытий. Назначение диэлектрических слоев и требования к ним. Методы получения диэлектрических покрытий. Термическое окисление кремния. Осаждение диэлектрических пленок. Перспективы развития методов осаждения диэлектрических пленок.

4. Легирование полупроводников (назначение процесса легирования и основные определения).

Ионная имплантация. Оборудование для ионного легирования. Процессы плазмохимического травления полупроводников, диэлектриков и металлов. Классификация процессов плазмохимического травления. Металлизированные соединения и омические контакты. Требования к металлизации. Материалы для электрических соединений. Оборудование для нанесения металлических пленок. Методы осаждения металлов. Интеграция процессов металлизации.

5. Интеграция технологических процессов в производственный маршрут изготовления микросхем.

Взаимосвязь технологических процессов. Спецификация производственного маршрута.

Структуры и процессы формирования пассивных элементов микросхем. Требования к пассивным элементам и их состав. Интегральные резисторы.

Интегральные конденсаторы. Интегральные индукторы. Пассивные элементы на основе волноводов. Варакторы. Диоды Шоттки.

6. Физические структуры микросхем на основе гетеропереходов соединений A3B5 и кремний-германий.

Свойства гетеропереходов. Технология гетероструктурных микросхем. Функциональные приборы и устройства: оптоэлектронные и акустоэлектронные приборы. Микроэлектронные электромеханические устройства. Магниточувствительные устройства.

7. Процессы сборки и герметизации микросхем.

Заключительный этап производства микросхем.

8. Корпуса для интегральных микросхем.

Монтаж кристаллов в корпуса, герметизация, защита от альфа-частиц. Многокристалльные модули, бескорпусные и гибридные микросхемы. Тенденции и перспективы развития сборочной технологии.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Л.П. Павлов Методы определения основных параметров полупроводников материалов. М., Высшая школа, 1975,
2. Барыбин А.А., Томилин В.И., Шаповалов В.И. Физико-технологические основы макро-, микро- и нанoeлектроники. Физматлит, 2011.
3. Зебрев Г.И. Физические основы кремниевой нанoeлектроники. Москва, МИФИ, 2008.

Дополнительная литература

1. А.А. Щука, под ред. А.С. Сигова Нанoeлектроника: учебное пособие для вузов. 2-е изд, БИНОМ, Лаб. знаний, 2012
2. Ефимов И.Е., Козырь И.Я. Основы микроэлектроники. Изд.: Лань, ISBN: 978-5-8114-0866-5 2008.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. Балашов А.Г., Крупкина Т.Ю., Лосев В.В., Старосельский В.И. Нанoeлектронные устройства и их модели. [Http://www.twirpx.com/files/special/nano](http://www.twirpx.com/files/special/nano) М.: МИЭТ, 2010.
2. Вьюрков В.В., Гридчин В.А., Драгунов В.П. Введение в нанoeлектронику. [Http://www.twirpx.com/files/special/nano](http://www.twirpx.com/files/special/nano) М.: МГТУ, 2009
3. Адамов Ю.Ф., Грушевский А.М., Тимошенко С.П. Современные проблемы проектирования и технологии микроэлектронных систем: Уч. Пособие / Под ред. Тимошенко С.П. [Http://library.gpntb.ru](http://library.gpntb.ru) М.: МИЭТ, 2008.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

на лекционных и семинарских занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, прослушавший курс лекций и семинаров, должен овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике.

Успешное освоение курса требует:

- 1) посещения всех лекций и семинаров, предусмотренных учебным планом; ведение конспектов занятий; активное участие в обсуждении лекций и семинаров;
- 2) важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультацией к преподавателю на лекции или к докладчику на семинаре.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Электроника и нанoeлектроника
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: микро- и нанoeлектроника Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра микро- и нанoeлектроники
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен	
Разработчик:	Ю.Ф. Адамов, д-р техн. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценить качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Технология микроэлектроники на базе сложных полупроводниковых соединений» обучающийся должен:

знать:

современные научные проблемы в области конструирования и технологии электронных средств;

основные понятия, термины, определения, классификации по различным признакам, обозначения, области применения, характеристики планарной технологии;

конструкции, материалы, характеристики современных микросхем;

тенденции и перспективы развития планарной технологии;

основные виды технологической документации при разработке технологических процессов.

уметь:

анализировать проблемы в своей области деятельности;

правильно выбрать методы и средства реализации электронных средств;

самостоятельно следить за достижениями в области конструирования и технологии изготовления современных микросхем, а также эффективности производства и качества продукции;

пользоваться нормативно-технической документацией по конструированию, технологии сборки и оценки качества микросхем;

критически, самостоятельно оценить конструкцию микросхемы для автоматизации ее производства;

использовать средства ВТ и современные системы проектирования при разработке микросхем и технологических процессов для условий автоматизации.

владеть:

знаниями по перспективам развития конструирования и технологии электронных средств.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы для подготовки к экзамену:

1. Возрастает или уменьшается пороговое напряжение МОП-транзистора с уменьшением ширины канала? Повышается быстродействие МОП-транзисторов при отрицательных температурах?

2. За счет какого свойства электронов минимальный размер в электронной литографии меньше, чем в оптической? В каких случаях используют позитивный электронрезист, а каких негативный?
3. Какие параметры процесса ограничивают скорость роста эпитаксиального слоя? Чем ограничена толщина слоя при гетероэпитаксии?
4. Какой объемный процент составляет кремний в пленке двуокиси кремния? Что ограничивает толщину диэлектрической пленки на кремниевой подложке?
5. Какой тип проводимости кремния получится при его легировании азотом? Повышается ли концентрация фосфора в кремнии n-типа при его окислении?
6. Разделяются ли изотопы легирующих элементов в установке ионной имплантации?

Плотность дефектов в структуре кристаллической мишени увеличивается:

- пропорционально дозе имплантируемых ионов;
- быстрее, чем доза имплантируемых ионов;
- медленнее, чем доза имплантируемых ионов?

7. Как скорость плазмохимического травления подложки связана с давлением газа в реакторе:

- увеличивается с ростом давления;
- уменьшается с ростом давления;
- имеет максимум;
- имеет минимум?

Кремниевые подложки в процессе ПХТ:

- нагревают;
- охлаждают;
- температурой не управляют.

8. Зачем испаряемый металл нагревают электронным лучом? С какой целью к затворам МОП транзисторов подключаются защитные диоды?

Примеры экзаменационных билетов.

Пример 1.

1. Возрастает или уменьшается пороговое напряжение МОП-транзистора с уменьшением ширины канала? Повышается быстродействие МОП-транзисторов при отрицательных температурах?
2. Какой тип проводимости кремния получится при его легировании азотом? Повышается ли концентрация фосфора в кремнии n-типа при его окислении?

Пример 2.

1. За счет какого свойства электронов минимальный размер в электронной литографии меньше, чем в оптической? В каких случаях используют позитивный электронрезист, а каких негативный?
2. Какие параметры процесса ограничивают скорость роста эпитаксиального слоя? Чем ограничена толщина слоя при гетероэпитаксии?

Критерии оценивания

10 баллов — (ПРЕВОСХОДНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы, а также по основным вопросам, выходящим за ее пределы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- безупречное владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- выраженная способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации;
- полное и глубокое усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку, использовать научные достижения других дисциплин;

- творческая самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, активное участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

9 баллов — (ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- точное использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его эффективно использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно и творчески решать сложные проблемы в нестандартной ситуации в рамках учебной программы, полное усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, творческое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

8 баллов — (ПОЧТИ ОТЛИЧНО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем поставленным вопросам в объеме учебной программы;
- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины (методами комплексного анализа, техникой информационных технологий), умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач; способность самостоятельно решать сложные проблемы в рамках учебной программы;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку с позиций государственной идеологии (по дисциплинам социально-гуманитарного цикла);
- активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, систематическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

7 баллов — (ОЧЕНЬ ХОРОШО):

- систематизированные, глубокие и полные знания по всем разделам учебной программы;
- использование научной терминологии (в том числе на иностранном языке), лингвистически и логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в постановке и решении научных и профессиональных задач;
- усвоение основной и дополнительной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им критическую оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

6 баллов — (ХОРОШО):

- достаточно полные и систематизированные знания в объеме учебной программы;
- использование необходимой научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать обоснованные выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач; способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку; активная самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, периодическое участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

5 баллов — (ПОЧТИ ХОРОШО):

- достаточные знания в объеме учебной программы;

- использование научной терминологии, стилистически грамотное, логически правильное изложение ответа на вопросы, умение делать выводы;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении учебных и профессиональных задач;
- способность самостоятельно применять типовые решения в рамках учебной программы;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- умение ориентироваться в базовых теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им сравнительную оценку;
- самостоятельная работа на практических, лабораторных занятиях, участие в групповых обсуждениях, высокий уровень культуры исполнения заданий.

4 балла — (УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), ЗАЧТЕНО:

- достаточный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- усвоение основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, стилистическое и логическое изложение ответа на вопросы, умение делать выводы без существенных ошибок;
- владение инструментарием учебной дисциплины, умение его использовать в решении стандартных (типовых) задач;
- умение под руководством преподавателя решать стандартные (типовые) задачи;
- умение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях по изучаемой дисциплине и давать им оценку;
- работа под руководством преподавателя на практических, лабораторных занятиях, допустимый уровень культуры исполнения заданий.

3 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО), НЕЗАЧТЕНО:

- недостаточно полный объем знаний в рамках образовательного стандарта;
- знание части основной литературы, рекомендованной учебной программой дисциплины;
- использование научной терминологии, изложение ответа на вопросы с существенными лингвистическими и логическими ошибками;
- слабое владение инструментарием учебной дисциплины, некомпетентность в решении стандартных (типовых) задач;
- неумение ориентироваться в основных теориях, концепциях и направлениях изучаемой дисциплины;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

2 балла — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- фрагментарные знания в рамках образовательного стандарта;
- знания отдельных литературных источников, рекомендованных учебной программой дисциплины;
- неумение использовать научную терминологию дисциплины, наличие в ответе грубых стилистических и логических ошибок;
- пассивность на практических и лабораторных занятиях, низкий уровень культуры исполнения заданий.

1 балл — (НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО):

- отсутствие знаний и компетенций в рамках образовательного стандарта или отказ от ответа.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов в устной и (или) письменной форме.