



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИЭиАС
В.Р. Храмшин

10.02.2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

Направление подготовки (специальность)
11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль/специализация) программы
Программирование и электроника информационных систем

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения
очная

Институт/ факультет	Институт энергетики и автоматизированных систем
Кафедра	Электроники и микроэлектроники
Курс	4
Семестр	8

Магнитогорск
2023 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника (приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 927)


Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Электроники и микроэлектроники
17.01.2023 г. протокол № 5

Зав. кафедрой  Д.Ю. Усатый

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЭиАС
10.02.2023 г. протокол № 7

Председатель  В.Р. Храмшин

Рабочая программа составлена:

доцент кафедры ЭиМЭ, канд. техн. наук 

Е.Э. Бодров

Рецензент:

директор СЦ ООО "ТЕХНОАП Инжиниринг" канд. техн. наук  Е.С. Суспицын

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024 - 2025 учебном году на заседании кафедры Электроники и микроэлектроники

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Д.Ю. Усатый

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025 - 2026 учебном году на заседании кафедры Электроники и микроэлектроники

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Д.Ю. Усатый

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Электроники и микроэлектроники

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Д.Ю. Усатый

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Электроники и микроэлектроники

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ Д.Ю. Усатый

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целями освоения дисциплины (модуля) «Основы технологии электронной компонентной базы» являются: ознакомление с основными технологическими процессами производства электронной компонентной базы; ознакомление с основами разработки структурных и функциональных схем электронных систем и комплексов, принципиальных схем устройств с использованием средств компьютерного проектирования; овладение навыками проведения проектных расчетов с технико-экономическим обоснованием принимаемых решений.

Поставленные цели достигаются с помощью решения следующих задач:

- формирование у студентов знаний в области проектирования современных полупроводниковых интегральных схем и технологии изготовления электронной компонентной базы;
- изучение основных технологических процессов производства интегральных схем;
- разработка эскизных проектов на электронные компоненты;
- проведение технико-экономического обоснования проектов электронной компонентной базы с расчетами себестоимости устройства и стоимости его эксплуатации.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Основы технологии электронной компонентной базы входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Основы проектирования электронной компонентной базы

Материалы и элементы электронной техники

Физические основы электроники

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Основы технологии электронной компонентной базы» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ПК-1	Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы электронных систем и комплексов, принципиальных схем устройств с использованием средств компьютерного проектирования, проведением проектных расчетов и технико-экономическим обоснованием принимаемых решений
ПК-1.1	Разрабатывает эскизный проект, включающий: выбор структурной схемы электронного устройства или системы путем сопоставления различных вариантов и их оценки с точки зрения технических и экономических требований; рассчитывает все необходимые показатели структурной схемы электронного устройства или системы, в том числе показатели качества; выбирает и обосновывает схемы вспомогательных устройств
ПК-1.2	Производит технико-экономическое обоснование принятого решения с расчетами себестоимости устройства и стоимости его эксплуатации; сравнивает с аналогами по технико-экономическим

	характеристикам
--	-----------------

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц 108 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 56,2 акад. часов;
- аудиторная – 55 акад. часов;
- внеаудиторная – 1,2 акад. часов;
- самостоятельная работа – 51,8 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;

Форма аттестации - зачет с оценкой

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Технология производства изделий микроэлектроники.								
1.1 Технология производства изделий микроэлектроники. Основные понятия и определения.	8	2	3/2И		1,8	Изучение литературы	Устный опрос	ПК-1.1, ПК-1.2
Итого по разделу		2	3/2И		1,8			
2. Конструкции элементов полупроводниковых микросхем и								
2.1 Конструкции элементов полупроводниковых микросхем и микропроцессоров. Конструкции на основе биполярных транзисторов. Конструкции на основе	8	4	6/2И		10	Изучение литературы. Подготовка докладов	Выполнение лабораторной работы, оформление отчета, защита лабораторной работы. Выступление и оценка доклада	ПК-1.1, ПК-1.2
Итого по разделу		4	6/2И		10			
3. Исходные материалы и полуфабрикаты для производства полупроводниковых интегральных микросхем.								
3.1 Исходные материалы и полуфабрикаты для производства полупроводниковых интегральных микросхем.	8	4	6/2И		10	Изучение литературы. Подготовка докладов	Выполнение лабораторной работы, оформление отчета, защита лабораторной работы. Выступление и оценка доклада	ПК-1.1, ПК-1.2
Итого по разделу		4	6/2И		10			
4. Технология производства полупроводниковых микросхем на биполярных								

4.1	Технология производства полупроводниковых микросхем биполярных транзисторах.	на	8	4	6/2И		10	Изучение литературы	Выполнение лабораторной работы, оформление отчета, защита лабораторной работы	ПК-1.1, ПК-1.2
Итого по разделу				4	6/2И		10			
5. Технология производства полупроводниковых микросхем			на							
5.1	Технология производства полупроводниковых микросхем МДП-транзисторах.	на	8	4	6/2И		10	Изучение литературы. Подготовка докладов	Устный опрос. Выступление и оценка доклада	ПК-1.1, ПК-1.2
Итого по разделу				4	6/2И		10			
6. Методы выполнения технологических операций										
6.1	Методы выполнения технологических операций.		8	4	6/2И		10	Изучение литературы	Выполнение лабораторной работы, оформление отчета, защита лабораторной работы	ПК-1.1, ПК-1.2
Итого по разделу				4	6/2И		10			
Итого за семестр				22	33/12И		51,8		зао	
Итого по дисциплине				22	33/12И		51,8		зачет с оценкой	

5 Образовательные технологии

В процессе преподавания дисциплины «Основы технологии электронной компонентной базы» применяются традиционная и модульно-компетентностная технологии. Лекции проходят как в традиционной форме, так и в форме лекций-консультаций, где студентам заранее предлагается ознакомиться с информацией по теме лекционного занятия для подготовки вопросов лектору, таким образом лекция проходит по типу «вопросы–ответы–дискуссия». На всех лекционных занятиях также применяются элементы лекции-визуализации, за счет представления части лекционного материала с помощью заранее подготовленных презентаций, слайдов с помощью мультимедийного оборудования.

Лекционный материал закрепляется на лабораторных занятиях, на которых выполняются индивидуальные и групповые задания по пройденной теме. Для глубокого и полного усвоения лекционного материала на лабораторных занятиях студентам предлагается выполнять задания на специализированных учебных стендах. На лабораторных занятиях также применяются метод контекстного обучения, работы в команде и метод case-study, позволяющие усвоить учебный материал путём выявления связей между конкретным знанием и его применением, а также анализа конкретных ситуаций и поиска решений в группе студентов. Защита результатов лабораторных работ проходит в виде диалога преподавателя и студента, преподавателем задаются контрольные вопросы с целью выяснения глубины знаний студента по данному разделу, при этом пробелы в знаниях студента восполняются дополнительными пояснениями, комментариями преподавателя.

В ходе самостоятельной работы студенты получают более глубокие практические навыки по дисциплине при подготовке к выполнению и защите лабораторных работ и итоговой аттестации.

В качестве оценочных средств на протяжении семестра используются: устный опрос (собеседование), выполнение работ на специализированном лабораторном оборудовании и защита полученных результатов, подготовка докладов на заданные темы.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) Основная литература:

1. Проектирование и технология электронной компонентной базы: полупроводниковые приемники излучений : учебное пособие / С. А. Леготин, А. А. Краснов, Д. С. Ельников [и др.]. — Москва : МИСИС, 2018. — 188 с. — ISBN 978-5-906953-50-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/115280> (дата обращения: 09.10.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Рабинович, О. И. Основы технологии электронной компонентной базы : учебно-методическое пособие / О. И. Рабинович. — Москва : МИСИС, 2015. — 59 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/116686> (дата обращения: 09.10.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) Дополнительная литература:

1. Обеспечение надежности сложных технических систем : учебник / А. Н. Дорохов, В. А. Керножицкий, А. Н. Миронов, О. Л. Шестопалова. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2017. — 352 с. — ISBN 978-5-8114-1108-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/93594> (дата обращения: 09.10.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

в) Методические указания:

1. Бодров, Е.Э. Основы технологии электронной компонентной базы: учеб. пособие / Е.Э. Бодров. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. – 179 с.

2. Астахов, В. П. Основы технологии электронной компонентной базы : практикум : учебное пособие / В. П. Астахов, С. А. Леготин, К. А. Кузьмина. — Москва : МИСИС, 2016. — 53 с. — ISBN 978-5-87623-964-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/93644> (дата обращения: 09.10.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности»	URL: http://www1.fips.ru/
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: http://window.edu.ru/
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: https://scholar.google.ru/
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации.

Лекционная аудитория: мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации.

Лаборатория физических основ электроники: автоматизированное рабочее место для роста углеродных нанотрубок, получения наноразмерного пористого алюминия. Автоматизированная система разработки и тестирования электронных изделий.

Аудитории для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации: аудитории кафедры электроники и микроэлектроники (ауд. 457,458,459,460).

Компьютерный класс: персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

Аудитории для самостоятельной работы: компьютерные классы; читальные залы библиотеки: персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования: Стеллажи, сейфы для хранения учебного оборудования. Инструменты для ремонта оборудования.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Перечень тем для подготовки к семинарским занятиям:

Тема 1. Технология производства изделий микроэлектроники. Основные понятия и определения.

1. Развитие технологии производства изделий электронной техники.
2. Классификация изделий микроэлектроники.

Тема 2. Конструкции элементов полупроводниковых микросхем и микропроцессоров.

1. Конструкции на основе биполярных транзисторов.
2. Конструкции на основе полевых транзисторов.

Тема 3. Исходные материалы и полуфабрикаты для производства полупроводниковых интегральных микросхем.

1. Монокристаллический кремний.
2. Эпитаксиальные структуры.

Тема 4. Технология производства полупроводниковых микросхем на биполярных транзисторах.

1. Изготовление микросхем на биполярных транзисторах с изоляцией элементов *p-n* переходами.
2. Изготовление микросхем на биполярных транзисторах с полной диэлектрической изоляцией элементов.

Тема 5. Технология производства полупроводниковых микросхем на МДП-транзисторах.

1. Изготовление микросхем на МДП-транзисторах с использованием аллюминиевых затворов.
2. Изготовление микросхем на МДП-транзисторах с использованием поликремниевых затворов.

Тема 6. Методы выполнения технологических операций.

1. Операции разделения пластин на кристаллы и подложек на платы.
2. Операции литографии.
3. Операции формирования *p-n* переходов в полупроводниках.
4. Операции соединения материалов.

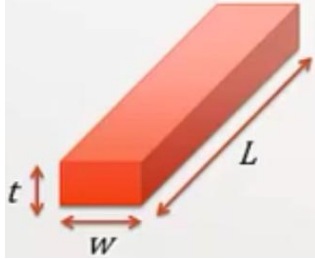
Перечень примерных тем докладов:

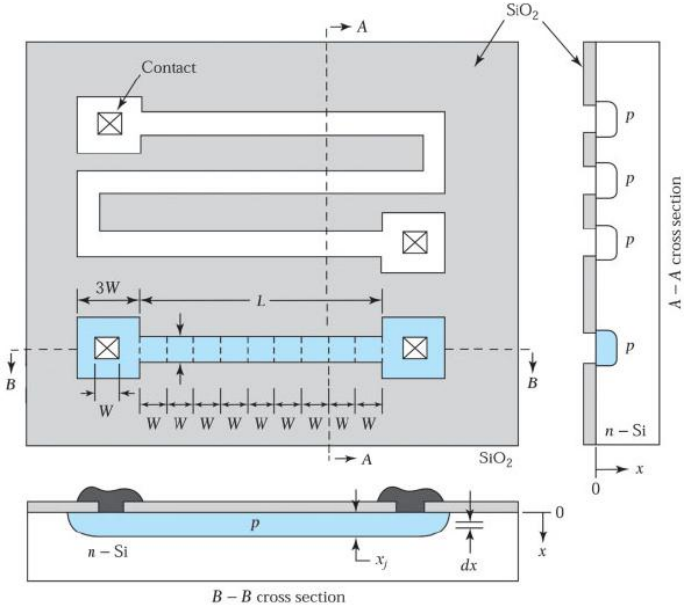
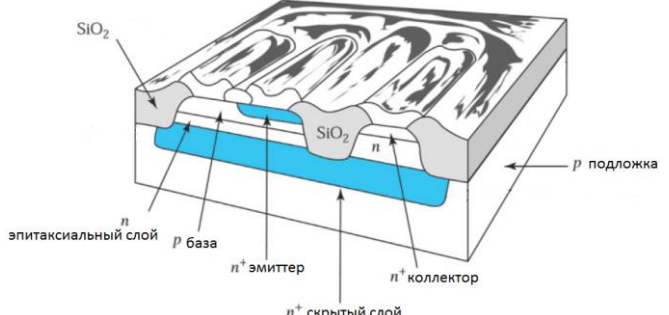
1. Наноимпринтная литография.
2. Особенности фотолитографии в области экстремально-ультрафиолета.
3. Особенности транзисторов, выполненных по технологии «слаболегированный затвор» (Lightly Doped Drain (LDD)).
4. FinFET–технология.
5. Эпитаксиальное наращивание полупроводников.
6. MESFET-технология.
7. Технологические проблемы, которые нужно преодолеть наноэлектронике.
8. BiCMOS-технология.
9. Эффекты, вызванные уменьшением размеров биполярных и полевых транзисторов.
10. Способы формирования тонких пленок на кремниевой подложке.
11. Процесс получения полупроводниковой пластины из кремния и арсенида галлия.
12. Проблемы, возникающие при применении процесса ионной имплантации и их устранение.
13. Фоторезисты, применяемые в процессе литографии.
14. Особенности производства масок для литографии.
15. Технология производства оптоэлектронных устройств.
15. Технология MEMS.
16. Получение монокристаллического кремния методом бестигельной зонной плавки.
17. Электронно-лучевая литография.
18. Способы предотвращения «эффекта защелкивания» в КМОП-технологии.
19. Технология производства микросхем памяти.
20. Различия в технологии производства микросхем памяти и логики.

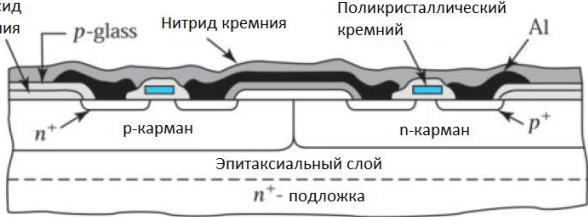
Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
ПК-1 Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы электронных систем и комплексов, принципиальных схем устройств с использованием средств компьютерного проектирования, проведением проектных расчетов и технико-экономическим обоснованием принимаемых решений		
ПК-1.1	Разрабатывает эскизный проект, включающий: выбор структурной схемы электронного устройства или системы путем сопоставления различных вариантов и их оценки с точки зрения технических и экономических требований; рассчитывает все необходимые показатели структурной схемы электронного устройства или системы, в том числе показатели качества; выбирает и обосновывает схемы вспомогательных устройств	<p>Перечень теоретических вопросов к зачету:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Электровакуумные приборы. Классификация. Сфера применения. Основные производители. Технология изготовления. 2. Оптоэлектронные приборы. Классификация. Сфера применения. Основные производители. Технология изготовления. 3. Электроакустические приборы. Классификация. Сфера применения. Основные производители. Технология изготовления. 4. Современное производство интегральных микросхем. Классификация интегральных схем. 5. Основные технологические операции при производстве интегральных микросхем. 6. Процесс литографии. 7. Процесс диффузии примесей в полупроводник. 8. Процесс ионной имплантации. 9. Процесс травления. 10. Последовательность технологических операций, необходимых для получения структуры биполярного транзистора. 11. Последовательность технологических операций, необходимых для получения структуры полевого транзистора. 12. Изготовление микросхем на биполярных транзисторах с изоляцией элементов <i>p-n</i> переходами. 13. Изготовление микросхем на биполярных транзисторах с полной диэлектрической изоляцией элементов. 14. Изготовление микросхем на МДП-транзисторах с использованием алюминиевых затворов. 15. Изготовление микросхем на МДП-транзисторах с использованием поликремниевых затворов. 16. Исходные материалы и полуфабрикаты для производства полупроводниковых интегральных микросхем. Монокристаллический кремний. 17. Исходные материалы и полуфабрикаты для производства полупроводниковых интегральных микросхем. Эпитаксиальные структуры.

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>18. Конструкции элементов полупроводниковых микросхем и микропроцессоров на основе биполярных транзисторов.</p> <p>19. Конструкции элементов полупроводниковых микросхем и микропроцессоров на основе полевых транзисторов.</p> <p>18. Разработка эскизного проекта электронного устройства.</p>
ПК-1.2	<p>Производит технико-экономическое обоснование принятого решения с расчетами себестоимости устройства и стоимости его эксплуатации; сравнивает с аналогами по технико-экономическим характеристикам</p>	<p>Студент изучает процедуру технико-экономического обоснования проекта по разработке электронного полупроводникового устройства и применяет полученные знания при выполнении расчетно-графических работ.</p> <p>Примерные практические задания для зачета:</p> <p>1. Рассчитать сопротивление полупроводникового резистора. Дана пластина кремния р-типа с концентрацией акцепторной примеси $N_A = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Добавляем в область будущего резистора примесь n-типа с $N_D = 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Размеры $L = 2 \text{ мкм}$, $w = 0,25 \text{ мкм}$, $t = 0,12 \text{ мкм}$.</p>  <p>2. Во сколько раз увеличится ширина р-n-перехода, созданного на кремниевой подложке р-типа с концентрацией примеси $N_A = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ при введении донорной примеси в концентрации $N_D = 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, если приложить к нему обратное напряжение величиной 0,8 В (по сравнению с р-n-переходом к которому не приложено напряжение).</p> <p>3. Найти значение сопротивления приведенных двух резисторов, выполненных методом легирования, если $W = 10 \text{ мкм}$, а поверхностное сопротивление равно $1 \text{ кОм}/\square$.</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		 <p data-bbox="782 913 1492 1164"> 4. Найти величину запасенного заряда и количество электронов на МОП-конденсаторе с площадью 4 мкм^2 для двух случаев: а) если используемый диэлектрик – диоксид кремния толщиной 10 нм, б) Ta_2O_5 толщиной 5 нм. Приложенное напряжение для обоих случаев равно 5 В. </p> <p data-bbox="782 1209 1492 1317"> 5. Какой радиус интегральной спиральной индуктивности необходим для получения $L = 10 \text{ нГн}$, если число витков равно 20? </p> <p data-bbox="782 1355 1492 1534"> 6. Какое максимальное напряжение затвор-исток может выдержать МОП-транзистор с толщиной подзатворного оксида 5 нм, если напряжение пробоя диоксида кремния составляет 8 МВ/см и напряжение подложки равно нулю. </p> <p data-bbox="782 1541 1492 1680"> 7. Какое количество перечисленных технологических процессов было использовано при создании данного транзистора (до выполнения металлизации): </p>  <p data-bbox="782 2011 1492 2116"> Нанесение/осаждение пленки материала _____ раз. Эпитаксиальное выращивание слоя кремния _____ раз. </p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>Окисление _____ раз. Фотолитография _____ раз. Травление _____ раз. Легирование _____ раз.</p> <p>8. Приведите последовательность технологических шагов (с рисунком для каждого шага), используемых при создании следующего устройства.</p>  <p>9. Найти длительность процесса получения пленки SiO₂ толщиной $t_{ox} = 0,4$ мкм на кремниевой пластине типа 111 при окислении во влажном и сухом (одна четверть общего времени) кислороде при температуре $T = 1100$ °С, полагая, что пленка растет по параболическому закону $t_{ox}^2 = Bt$ и начальная толщина оксидной пленки на пластине $t_{ox} = 0$. Насколько изменится общее время окисления, если температуру повысить на 100 °С?</p> <p>10. Осуществляется диффузия бора (В) в кремнии в течение 1 часа при температуре 1000 °С, при этом концентрация на поверхности равна 10^{19} см⁻³. Для случая «постоянного источника» найти $Q_T(t)$ и градиент концентрации dC/dx у поверхности ($x = 0$) и в том месте, где концентрация достигнет величины 10^{15} см⁻³. Коэффициент диффузии бора при температуре 1000 °С составляет $2 \cdot 10^{-14}$ см²/сек.</p> <p>11. Определить время воздействия пучка ионов с плотностью тока $0,1$ мА/см² для получения легированного слоя толщиной $d = 100$ нм со средней концентрацией 10^{20} см⁻³. Кратность ионизации равна 1.</p> <p>12. Можно ли обрабатывать пластины диаметром 200 мм и 300 мм в установке для нанесения слоя материала вакуумным термическим напылением, если расстояние от поверхностного источника (расплава) до пластины составляет 1 м и нужно получить однородность толщины пленки на уровне 0,5%?</p>

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Основы технологии электронной компонентной базы» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачета с оценкой. Зачет по данной дисциплине проводится в письменной форме.

Показатели и критерии оценивания зачета с оценкой:

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Перечень тем для подготовки к семинарским занятиям:

Тема 1. Технология производства изделий микроэлектроники. Основные понятия и определения.

1. Развитие технологии производства изделий электронной техники.
2. Классификация изделий микроэлектроники.

Тема 2. Конструкции элементов полупроводниковых микросхем и микропроцессоров.

1. Конструкции на основе биполярных транзисторов.
2. Конструкции на основе полевых транзисторов.

Тема 3. Исходные материалы и полуфабрикаты для производства полупроводниковых интегральных микросхем.

1. Монокристаллический кремний.
2. Эпитаксиальные структуры.

Тема 4. Технология производства полупроводниковых микросхем на биполярных транзисторах.

1. Изготовление микросхем на биполярных транзисторах с изоляцией элементов *p-n* переходами.
2. Изготовление микросхем на биполярных транзисторах с полной диэлектрической изоляцией элементов.

Тема 5. Технология производства полупроводниковых микросхем на МДП-транзисторах.

1. Изготовление микросхем на МДП-транзисторах с использованием аллюминиевых затворов.
2. Изготовление микросхем на МДП-транзисторах с использованием поликремниевых затворов.

Тема 6. Методы выполнения технологических операций.

1. Операции разделения пластин на кристаллы и подложек на платы.
2. Операции литографии.
3. Операции формирования *p-n* переходов в полупроводниках.
4. Операции соединения материалов.

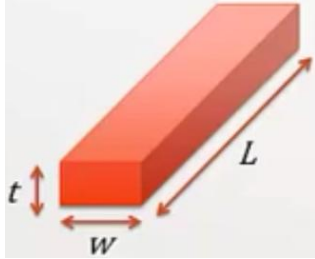
Перечень примерных тем докладов:

3. Наноимпринтная литография.
4. Особенности фотолитографии в области экстремально-ультрафиолета.
3. Особенности транзисторов, выполненных по технологии «слаболегированный затвор» (LightlyDopedDrain(LDD)).
4. FinFET–технология.
5. Эпитаксиальное наращивание полупроводников.
6. MESFET-технология.
7. Технологические проблемы, которые нужно преодолеть наноэлектронике.
8. BiCMOS-технология.
9. Эффекты, вызванные уменьшением размеров биполярных и полевых транзисторов.
10. Способы формирования тонких пленок на кремниевой подложке.
11. Процесс получения полупроводниковой пластины из кремния и арсенида галлия.
12. Проблемы, возникающие при применении процесса ионной имплантации и их устранение.
13. Фоторезисты, применяемые в процессе литографии.
14. Особенности производства масок для литографии.
15. Технология производства оптоэлектронных устройств.
15. Технология MEMS.
16. Получение монокристаллического кремния методом бестигельной зонной плавки.
17. Электронно-лучевая литография.
18. Способы предотвращения «эффекта защелкивания» в КМОП-технологии.
19. Технология производства микросхем памяти.
20. Различия в технологии производства микросхем памяти и логики.

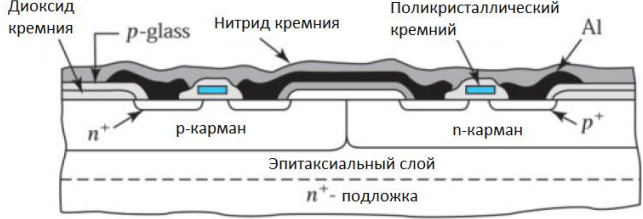
Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
ПК-1 Способен разрабатывать структурные и функциональные схемы электронных систем и комплексов, принципиальных схем устройств с использованием средств компьютерного проектирования, проведением проектных расчетов и технико-экономическим обоснованием принимаемых решений		
ПК-1.1	Разрабатывает эскизный проект, включающий: выбор структурной схемы электронного устройства или системы путем сопоставления различных вариантов и их оценки с точки зрения технических и экономических требований; рассчитывает все необходимые показатели структурной схемы электронного устройства или системы, в том числе показатели качества; выбирает и обосновывает схемы вспомогательных устройств	<p>Перечень теоретических вопросов к зачету:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Электровакуумные приборы. Классификация. Сфера применения. Основные производители. Технология изготовления. 2. Оптоэлектронные приборы. Классификация. Сфера применения. Основные производители. Технология изготовления. 3. Электроакустические приборы. Классификация. Сфера применения. Основные производители. Технология изготовления. 4. Современное производство интегральных микросхем. Классификация интегральных схем. 5. Основные технологические операции при производстве интегральных микросхем. 6. Процесс литографии. 7. Процесс диффузии примесей в полупроводник. 8. Процесс ионной имплантации. 9. Процесс травления. 10. Последовательность технологических операций, необходимых для получения структуры биполярного транзистора. 11. Последовательность технологических операций, необходимых для получения структуры полевого транзистора. 12. Изготовление микросхем на биполярных транзисторах с изоляцией элементов <i>p-n</i> переходами. 13. Изготовление микросхем на биполярных транзисторах с полной диэлектрической изоляцией элементов. 14. Изготовление микросхем на МДП-транзисторах с использованием алюминиевых затворов. 15. Изготовление микросхем на МДП-транзисторах с использованием поликремниевых затворов. 16. Исходные материалы и полуфабрикаты для производства полупроводниковых интегральных микросхем. Монокристаллический кремний. 17. Исходные материалы и полуфабрикаты для производства полупроводниковых интегральных микросхем. Эпитаксиальные структуры.

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>18. Конструкции элементов полупроводниковых микросхем и микропроцессоров на основе биполярных транзисторов.</p> <p>19. Конструкции элементов полупроводниковых микросхем и микропроцессоров на основе полевых транзисторов.</p> <p>18. Разработка эскизного проекта электронного устройства.</p>
ПК-1.2	<p>Производит технико-экономическое обоснование принятого решения с расчетами себестоимости устройства и стоимости его эксплуатации; сравнивает с аналогами по технико-экономическим характеристикам</p>	<p>Студент изучает процедуру технико-экономического обоснования проекта по разработке электронного полупроводникового устройства и применяет полученные знания при выполнении расчетно-графических работ.</p> <p>Примерные практические задания для зачета:</p> <p>1. Рассчитать сопротивление полупроводникового резистора. Дана пластина кремния р-типа с концентрацией акцепторной примеси $N_A = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Добавляем в область будущего резистора примесь n-типа с $N_D = 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Размеры $L = 2 \text{ мкм}$, $w = 0,25 \text{ мкм}$, $t = 0,12 \text{ мкм}$.</p>  <p>2. Во сколько раз увеличится ширина р-n-перехода, созданного на кремниевой подложке р-типа с концентрацией примеси $N_A = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ при введении донорной примеси в концентрации $N_D = 1 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, если приложить к нему обратное напряжение величиной 0,8 В (по сравнению с р-n-переходом к которому не приложено напряжение).</p> <p>3. Найти значение сопротивления приведенных двух резисторов, выполненных методом легирования, если $W = 10 \text{ мкм}$, а поверхностное сопротивление равно $1 \text{ кОм}/\square$.</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<div data-bbox="790 264 1476 873" data-label="Diagram"> </div> <p data-bbox="782 913 1492 1164"> 4. Найти величину запасенного заряда и количество электронов на МОП-конденсаторе с площадью 4 мкм^2 для двух случаев: а) если используемый диэлектрик – диоксид кремния толщиной 10 нм, б) Ta_2O_5 толщиной 5 нм. Приложенное напряжение для обоих случаев равно 5 В. </p> <p data-bbox="782 1209 1492 1317"> 5. Какой радиус интегральной спиральной индуктивности необходим для получения $L = 10 \text{ нГн}$, если число витков равно 20? </p> <p data-bbox="782 1355 1492 1534"> 6. Какое максимальное напряжение затвор-исток может выдержать МОП-транзистор с толщиной подзатворного оксида 5 нм, если напряжение пробоя диоксида кремния составляет 8 МВ/см и напряжение подложки равно нулю. </p> <p data-bbox="782 1541 1492 1680"> 7. Какое количество перечисленных технологических процессов было использовано при создании данного транзистора (до выполнения металлизации): </p> <div data-bbox="805 1691 1468 2004" data-label="Diagram"> </div> <p data-bbox="782 2011 1492 2116"> Нанесение/осаждение пленки материала _____ раз. Эпитаксиальное выращивание слоя кремния _____ раз. </p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>Окисление _____ раз. Фотолитография _____ раз. Травление _____ раз. Легирование _____ раз.</p> <p>8. Приведите последовательность технологических шагов (с рисунком для каждого шага), используемых при создании следующего устройства.</p>  <p>9. Найти длительность процесса получения пленки SiO₂ толщиной $t_{ox} = 0,4$ мкм на кремниевой пластине типа 111 при окислении во влажном и сухом (одна четверть общего времени) кислороде при температуре $T = 1100$ °С, полагая, что пленка растет по параболическому закону $t_{ox}^2 = Bt$ и начальная толщина оксидной пленки на пластине $t_{ox} = 0$. Насколько изменится общее время окисления, если температуру повысить на 100 °С?</p> <p>10. Осуществляется диффузия бора (В) в кремнии в течение 1 часа при температуре 1000 °С, при этом концентрация на поверхности равна 10^{19} см⁻³. Для случая «постоянного источника» найти $Q_T(t)$ и градиент концентрации dC/dx у поверхности ($x = 0$) и в том месте, где концентрация достигнет величины 10^{15} см⁻³. Коэффициент диффузии бора при температуре 1000 °С составляет $2 \cdot 10^{-14}$ см²/сек.</p> <p>11. Определить время воздействия пучка ионов с плотностью тока $0,1$ мА/см² для получения легированного слоя толщиной $d = 100$ нм со средней концентрацией 10^{20} см⁻³. Кратность ионизации равна 1.</p> <p>12. Можно ли обрабатывать пластины диаметром 200 мм и 300 мм в установке для нанесения слоя материала вакуумным термическим напылением, если расстояние от поверхностного источника (расплава) до пластины составляет 1 м и нужно получить однородность толщины пленки на уровне 0,5%?</p>

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Основы технологии электронной компонентной базы» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачета с оценкой. Зачет по данной дисциплине проводится в письменной форме.

Показатели и критерии оценивания зачета с оценкой:

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.