

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»  
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет  
Кафедра автоматизации физико-технических исследований**



**Рабочая программа дисциплины**

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ**

направление подготовки: **03.03.02 Физика**  
направленность (профиль): **Физическая информатика**

Форма обучения  
**Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)					
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем				
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
5	108	32		32	42				2		
Всего 108 часов / 3 зачетных единицы, из них: - контактная работа 66 часов											
Компетенции ПК-2											

Ответственный за образовательную программу  
д.ф.-м.н., проф.

С. В. Цыбуля

Новосибирск, 2023

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	3
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу .....	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий .....	5
5. Перечень учебной литературы .....	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся .....	8
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.....	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....	9
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине .....	9

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Цель дисциплины «**Основы проектирования интегральных микросхем**» – ознакомление с основами топологического проектирования и технологий производства полупроводниковых приборов и моделирования технологических процессов, получение практических навыков расчёта параметров элементов и блоков интегральных схем.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<b>ПК-2.</b> Способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учётом отечественного и зарубежного опыта.	<b>ПК 1.1.</b> Применяет основные приемы, возможности и правила работы со стандартными и специализированными программными продуктами при решении профессиональных задач. <b>ПК 2.2.</b> Применяет методологию поиска научной и технической информации в сети Интернет и специализированных базах данных.	<b>Знать</b> основы проектирования СБИС; основы планарной технологии полупроводникового производства. <b>Уметь</b> проводить экстракцию параметров для SPICE-моделей; моделировать процессы, приборы и блоки СБИС, связывать технологические параметры с характеристиками приборов; разрабатывать логические (цифровые) схемы с последующим синтезом топологии кристалла (net-list, расположение, межсоединения) и осуществлять логический синтез целевой СБИС. <b>Владеть</b> ПО для моделирования процессов и приборов (Sentarius TCAD); ПО для проектирования электронных устройств (Cadence Design Systems).

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к циклу профессиональных дисциплин и реализуется в осеннем семестре 3-го курса для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика. В результате прохождения курса студенты знакомятся с методами планарной технологии полупроводникового производства, моделирования процессов, приборов и блоков СБИС, со связями технологических параметров с характеристиками электронных приборов, получают практические навыки расчёта параметров элементов и блоков интегральных схем.

Дисциплина «Основы проектирования интегральных микросхем» наравне с дисциплинами «Цифровая схемотехника и архитектура вычислительных систем», «Аналоговая электроника» продолжает цикл физико-технических дисциплин и связан с дисциплинами этого цикла: «Физические основы микроэлектроники»; «Программируемые микроконтроллеры». Знания, получаемые студентами, прослушавшими курс, и навыки самостоятельной работы, полученной при выполнении лабораторных работ практикума курса, должны расширяться и развиваться в

курсе «Проектирование современных интегральных микросхем». Курс «Основы проектирования интегральных микросхем» расширит понимание принципов построения электронных устройств, используемых в физико-технических исследованиях.

Для успешного изучения материалов, даваемых курсом, студенты должны обладать знаниями школьного курса физики (разделы: электричество и магнетизм; структура вещества). Владеть аппаратом математического анализа: комплексные числа; преобразования Фурье. Знать основы цифровой и аналоговой электроники. Предполагается умение правильно применять измерительные устройства и навыки работы, полученные в измерительном практикуме первого курса физического факультета.

### 3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	108	32		32	42				2	
Всего 108 часов / 3 зачетные единицы, из них: - контактная работа 66 часов										
Компетенции ПК-2										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, лабораторные занятия, самостоятельная работа студента, дифференцированный зачёт.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- Текущий контроль успеваемости: опрос студентов в начале каждого занятия.
- Промежуточная аттестация: дифференцированный зачёт.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 108 академических часов/3 зачётные единицы:

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- лабораторные занятия – 32 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 42 часа;
- промежуточная аттестация (дифференцированный зачёт) – 2 часа.

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, лабораторные занятия, дифференцированный зачёт) составляет 66 часов.

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

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы, 108 академических часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в период сессии) (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	
				Лекции (кол-во часов)	Лаб. работы (кол-во часов)		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Введение: разнообразие разработчиков и производителей СБИС, знакомство с ПО.	1	6	3	1	2	
2	Кристаллическая структура. Примеси. Проводимость полупроводников.	2-3	12	2	6	4	
3	Контакт металл-полупроводник, <i>p-n</i> переход: ВАХ и ВФХ.	4-5	12	2	6	5	
4	МДП транзистор. Сток-исток и затвор-сток характеристики.	6-7	12	2	6	5	
5	Боковая изоляция. Металлизация.	8-9	12	2	6	5	
6	EDA Cadence. Основы проектирования ИС	10-12	20	3	9	9	
7	Базовые элементы ИС	13-14	13	1	7	6	
8	Паразитные ёмкости и сопротивления	15-16	13	1	7	6	
10	Дифференцированный зачёт		2				2
	Всего за 5 семестр:		<b>108</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>42</b>	<b>2</b>

**Программа и основное содержание лекций (32 часа)**

## **Введение: разнообразие разработчиков и производителей СБИС**

Вводная лекция. Основные направления развития физики и техники полупроводников. Структура полупроводникового производства, место разработчика СБИС в этой структуре. Общие направления разработки интегральных микросхем.

## **Кристаллическая структура. Примеси. Проводимость полупроводников**

Кристаллическая структура. Энергетические зоны. Энергия Ферми. Носители заряда. Генерация и рекомбинация электронов и дырок. Тепловая генерация, концентрация носителей при термодинамическом равновесии. Собственные и примесные полупроводники. Примеси, донорные и акцепторные примеси. Компенсация. Уравнение электронейтральности, закон действующих масс, температурная зависимость энергии Ферми. Явления переноса. Диффузия. Дрейф в электрическом поле. Зависимость дрейфовой скорости от электрического поля и температуры, подвижность. Барьеры на границе. Поверхностные состояния. Работа выхода.

## **Контакт металл-полупроводник, p-n переход: ВАХ и ВФХ**

Зонные диаграммы. Эффект Шоттки. Омический контакт. Режимы обеднения и обогащения. Обеднённый слой и барьерная ёмкость. Процесс переноса заряда. Вольтамперные характеристики. Структуры приборов.

## **МДП транзистор. Сток-исток и затвор-сток характеристики**

Принцип действия полевого транзистора. Основные характеристики приборов. Зонная диаграмма МДП структур. Ёмкость и эквивалентные схемы МДП структур. Вольт-фарадные характеристики. Теория работы МДП транзистора и его основные характеристики. Типы МДП транзисторов (MOSFET, FinFET). High-κ диэлектрики. Комплементарные МДП схемы. Технология МДП структур, масштабирование.

## **Боковая изоляция. Металлизация**

Изоляция p-n переходами. LOCOS. Shallow Trench Isolation (STI). Deep Trench Isolation (DTI).

## **EDA Cadence**

Лекция по маршрутам проектирования. Аналоговый дизайн и цифровой дизайн. Этапы разработки, различия маршрутов. Компоненты программного пакета EDA Candence Design System. Топологическое представление КМОП транзисторов. Верификация топологии. Проверка конструкторских правил проектирования (DRC). Проверка соответствия топологии электрической принципиальной схеме (LVS).

## **Базовые элементы ИС**

Краткий обзор «стандартизованной» модели МОП-транзисторов BSIM3v3. Основы схемотехнического моделирования (анализ по постоянному току на примере ВАХ транзисторов, анализ переходных процессов, моделирование шума, вольт-фарадная характеристика, температурные зависимости).

## **Паразитные ёмкости и сопротивления**

Экстракция паразитных ёмкостей и сопротивлений из топологии. Моделирование с учётом паразитных ёмкостей. Статические и динамические логические элементы. D-триггер, ячейка памяти.

## **Программа лабораторных занятий (32 часа)**

### **Введение: знакомство с ПО**

Ознакомление с работой в терминале ОС Linux (базовые команды). Изучение номенклатуры программного обеспечения для моделирования приборов, технологии, элементов СБИС: Sentarius TCAD, Cadence EDA, Simence (Mentor Graphics) EDA, LayoutEditor. Изучение компонентов Sentarius TCAD: оболочка swb, среда моделирования процессов sprocess, среда моделирования устройств sdevice. Загрузка существующего проекта. Запуск проекта. Просмотр результатов.

### **Кристаллическая структура. Примеси. Проводимость полупроводников**

Редактор конструкции приборов, границ и материалов (sde). Построение и уточнение сетки (sde, smesh, mgoals). Моделирование технологии, создания рельефа, легирования кремния и активации/отжига примеси (sprocess). Расчёт проводимости собственного и легированного кремния, задание параметров материала и изменение/дополнение физических процессов в материале и приборе (sdevice. PMI).

### **Контакт металл-полупроводник, p-n переход: ВАХ, ВФХ и АЧХ**

Создание структур (n,p)-Si/Au и (n,p)-Si/Al. Моделирование ВАХ, ВФХ и АЧХ (sdevice): эффект Шоттки и омический контакт. Визуализация результатов расчётов (svisual) и экстракция параметров (sdevice, svisual, inspect, python, tcl).

Создание структур p-Si/n-Si. Моделирование ВАХ и ВФХ (sdevice). Визуализация результатов расчётов и экстракция параметров (svisual).

### **МДП транзистор. Сток-исток и затвор-сток характеристики**

Создание структуры МДП транзистора с индуцированным каналом n-типа (p-типа) (sde, sprocess). Моделирование сток-исток и затвор-сток ВАХ (sdevice). Визуализация пространственных распределений концентрации носителей заряда в закрытом и активном режимах. (svisual). Моделирование работы FinFET транзистора. (sdevice). Основные простые модели (compact models).

### **Боковая изоляция. Металлизация**

Моделирование металлизации структуры 6-транзисторной SRAM ячейки памяти (sinterconnect).

### **EDA Cadence**

Компоненты программного пакета EDA Candece Design System. Подготовка среды окружения для работы с программными продуктами Cadence. Знакомство с инструментом проектирования аналоговых микросхем Cadence IC Virtuoso. Освоение пакета схемотехнического проектирования. Редактор топологии. Топологическое представление КМОП транзисторов. Верификация топологии. Проверка конструкторских правил проектирования (DRC). Проверка соответствия топологии электрической принципиальной схеме (LVS).

### **Базовые элементы ИС**

Основы схемотехнического моделирования МОП-транзисторов (анализ по постоянному току, анализ переходных процессов, моделирование шума, вольт-фарадная характеристика, температурные зависимости). Кольцевой генератор. Монте-Карло моделирование разброса параметров транзисторов.

### **Паразитные ёмкости и сопротивления**

Экстракция паразитных ёмкостей и сопротивлений из топологии. Моделирование с учётом паразитных ёмкостей. Статические и динамические логические элементы. D-триггер, ячейка памяти.

### **Самостоятельная работа студентов (42 часа)**

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к лабораторным занятиям.	24
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	18

## **5. Перечень учебной литературы**

- Квон З. Д., Попов Л. К. Электроны и дырки в тонких слоях полупроводников: учебное пособие. Ч. 1., Новосибирск: НГУ, 2010, – 122 с., ISBN 978-5-94356-959-3 (6 экз.)
- Шамирзаев Т.С. Твердотельная электроника: история, современное состояние и перспективы развития: Учебное пособие. / Новосибирск: НГУ, 2014. – 91 с.(10 экз.)
- Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. М.;Л. : Физматгиз, 1962, 418 с. : ил.(4 экз.)
- Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов: В 2 кн. / С.М. Зи; Пер. с англ. В.А. Гергеля, В.В. Ракитина. Под ред. Р.А. Сурица. – 2-е изд. – М: Мир, 1984. – 456 с. (Кн. 1- 3 экз.), 456 с. (Кн. 2- 1 экз.).
- Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1990. – 685 с., ISBN 5-02-014032-5 (39 экз.)

- Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. М.: Лаб. Базовых Знаний, 2001. – 488 с., ISBN 5-93208-045-0 (1 экз.)
- Казеннов Г.Г., Основы проектирования интегральных схем и систем, М.: БИНОМ, 2005. – 295 с., ISBN 5-94774-232-2 (1 экз.)

## **6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся**

- C.Y.Chang, S.M.Sze, ULSI Technology, New York, McGraw-Hill, 1996. – 751 с.
- S.M.Sze, Kwok K. Ng, Physics of Semiconductor Devices, New York, John Wiley & Sons, 2007. – 764 с.
- S.M.Sze, M.K.Lee, Semiconductor Devices. Physics and Technology, New York, John Wiley & Sons, 2012. – 590 с.
- Зи С.М., Lee M. K. Semiconductor Devices. Physics and Technology. – 3rd ed., – IEEE, 2010. – 578 Pp. – ISBN 978-0470-53794-7.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

### **7.1 Современные профессиональные базы данных**

Для освоения дисциплины используются следующие библиотеки для проектируемых и моделируемых приборов:

- PDK завода АО «Микрон».
- Внутренняя база данных Sentaurus TCAD для параметров материалов, технологических и физических процессов (pdbBrowser), кроме того в рамках пакета существует иерархическое представление и использование процесса моделирование технологии и приборов.

### **7.2. Информационные справочные системы**

Не используются.

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое ПО ОС CentOS Linux 7.x, ОС Debian GNU/Linux.

Также используется специализированное лицензионное ПО Sentaurus TCAD, EDA Cadence Design Systems, ПО с открытым кодом для моделирования и проектирования полупроводниковых приборов и ИС LayoutEditor, KLayout – входит в состав учебных стендов.

### **Информационные справочные системы**

Для лабораторных и самостоятельной работ используются следующие ресурсы: встроенная справочная система Sentarius TCAD, встроенный в пакет Sentarius TCAD тренинг.

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

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, лабораторных занятий и промежуточной аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

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

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## 10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень результатов обучения по дисциплине «**Основы проектирования интегральных микросхем**» и индикаторов их достижения представлен в виде знаний, умений и владений в разделе 1.

### 10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

#### Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости осуществляется в ходе семестра путем опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции, а также проведения опроса студентов в начале каждого занятия на темы, рассмотренные на предыдущем занятии. Примеры вопросов приведены в п. 10.3.

#### Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенции ПК-2 сформированы не ниже порогового уровня.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на дифференцированном зачёте. Он проводится в конце семестра в устной форме. Вопросы подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-2.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Положительная оценка ставится, когда компетенция освоена не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

#### Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 2.1. Проводит научные исследования в избранной области в соответствии с профилем подготовки и в зависимости от специфики	Знать основы планарной технологии полупроводникового производства. Знать основы проектирования СБИС.	Опрос студентов в начале каждого занятия, дифференцированный зачёт в устной форме.

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
объекта исследования с помощью современной приборной базы.		
<b>ПК – 2.2.</b> Использует специализированные знания в области физики и математики при выборе методов расчета, проведении статистического анализа экспериментальных данных.	<p>Уметь проводить экстракцию параметров для SPICE-моделей, разрабатывать логические (цифровые) схемы с последующим синтезом топологии кристалла (net-list, расположение, межсоединения) и осуществлять логический синтез целевой СБИС.</p> <p>Уметь моделировать процессы, приборы и блоки СБИС, связывать технологические параметры с характеристиками приборов.</p>	Опрос студентов в начале каждого занятия, дифференцированный зачёт в устной форме.

## 10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Основы проектирования интегральных микросхем».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 2.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 2.2	Отсутствие минимальных умений.  Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.

			ошибки.		
--	--	--	---------	--	--

### 10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

#### Пример вопросов на лекциях

- Технологии полупроводникового производства. Материалы. Структуры и приборы. Степень интеграции.
- Сырьё для получения полупроводникового кремния. Этапы получения полупроводникового кремния.
- Основы планарной технологии. Создание рельефа. Осаждение. Травление. Процессы получение оксида кремния. Литография. Легирование. Металлизация.
- Контакты металл-металл, металл-полупроводник, полупроводник-полупроводник, полупроводник-диэлектрик. p-n переход.
- High-к и Low-к диэлектрики.
- Изоляция элементов СБИС.
- Металлизация. Паразитные ёмкости и сопротивления.
- Статические и динамические логические элементы.
- D-триггер.
- Ячейка памяти.

#### Примеры вопросов к дифференцированному зачёту

- Производители и разработчики интегральных схем.
- Металлы, полупроводники, диэлектрики.
- Кристаллическая структура. Запрещённая зона. Примеси. Ловушки.
- Носители заряда. Концентрация, подвижность, проводимость.
- Контакт металл-полупроводник. Эффект Шоттки. Омический контакт. Вольтамперные характеристики. Пробой и пробивное напряжение. Структуры приборов.
- p-n переход. Вольтамперные и фолт-фарадные характеристики.
- МДП транзистор. Основные характеристики приборов. Типы МДП транзисторов. High-к диэлектрики.
- Технология МДП структур, масштабирование. Комплементарные МДП схемы.
- Изоляция элементов СБИС.
- Металлизация. Паразитные ёмкости и сопротивления. Low-к диэлектрики.
- Верификация топологии.
- Проверка конструкторских правил проектирования (DRC).
- Проверка соответствия топологии электрической принципиальной схеме (LVS).
- Статические и динамические логические элементы.
- D-триггер.
- Ячейка памяти.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы  
по дисциплине «Основы проектирования интегральных микросхем»  
по направлению подготовки 03.04.02 Физика  
Профиль «Физическая информатика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного