

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)



УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
Физики полупроводников и микроэлектроники

(Е.Н.Бормонтов)

31.08.2021

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.04.01 Физические основы микроэлектроники

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:
03.03.03 Радиофизика
2. Профиль подготовки: радиофизика и электроника
3. Квалификация (степень) выпускника: бакалавр
4. Форма образования: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: физики полупроводников и микроэлектроники
6. Составители программы: Богатиков Евгений Васильевич,
кандидат физико-математических наук,
7. Рекомендована: НМС физического факультета протокол №6 от 26.06.2021
8. Учебный год: 2024-2025 Семестр: 7
9. Цели и задачи учебной дисциплины: цель освоения дисциплины состоит в формировании целостного представления проектировании, изготовлении, испытании и принципах функционирования интегральных микросхем.
Задачи учебной дисциплины:
 - получение представлений об этапах проектирования интегральных микросхем;
 - изучение конструктивно-технологических и функциональных особенностей пассивных и активных полупроводниковых приборов в интегральном исполнении;
 - изучение перспективных направлений развития микроэлектроники;
 - получение навыков топологического проектирования узлов интегральных микросхем.

10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП: дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений (вариативная) блока Б1, дисциплины по выбору. Для ее усвоения требуются знания, формируемые при освоении ОПОП в рамках курса Б.О.25 Физика полупроводников.

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки общепрофессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудовых действий ТД.2 «Сбор, обработка, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований» и ТД.3 «Сбор, обработка, анализ и обобщение результатов экспериментов и исследований в соответствующей области знаний» трудовой функции А/01.5 «Осуществление проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований» профессионального стандарта 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам».

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Компетенции		Индикаторы		Планируемые результаты обучения
Код	Наименование компетенции	Код(ы)	Наименование индикатора(ов)	
ПК-1	Способен проводить сбор, анализ и обработку научно-технической информации, необходимой для решения профессиональных задач	ПК-1.1	Применяет знания о методах исследований, методах структурирования естественно-научной информации, современных концепциях в области физики и радиофизики при решении профессиональных задач	<p><i>Знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - основные механизмы короткоканальных эффектов в МОП-транзисторах; - перспективные направления развития микроэлектроники. <p><i>Уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - идентифицировать механизмы доминирующих короткоканальных эффектов в конкретных МОП-структурах по результатам моделирования и экспериментальных исследований.
ПК-4	Способен принимать участие в разработке и исследованиях, а также эксплуатировать радиоэлектронные приборы и системы различного назначения	ПК-4.1	Владеет фундаментальными знаниями физических основ и принципов функционирования радиоэлектронных приборов и систем	<p><i>Знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - принцип работы, эквивалентные схемы и основные параметры пассивных и активных элементов биполярных и КМОП ИС. <p><i>Владеть:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками проектирования топологии цифровых и аналоговых интегральных схем.
		ПК-4.13	Понимает принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной аппаратуры и оборудования	<p><i>Знать:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - основные методы испытания интегральных схем и используемое при испытаниях контрольно-измерительное оборудование; <p><i>Уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - составлять план испытаний интегральных схем.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах — 2 / 72.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

13. Виды учебной работы:

Вид учебной работы		Трудоемкость (часы)	
		Всего	По семестрам 6 сем.
Аудиторные занятия,		50	50
в том числе:	лекции	34	34
	лабораторные работы	16	16
Самостоятельная работа		22	22
Итого:		72	72

13.1. Содержание дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
Лекции		
1.1	Введение	Предмет микроэлектроники. Основные термины и определения. Классификация интегральных схем по функциональному назначению, методам изготовления, степени интеграции. Этапы проектирования интегральных схем.
1.2	Интегральные схемы на биполярных транзисторах	Полупроводниковые интегральные резисторы. Диффузионные, пинч-, ионно-легированные резисторы, эквивалентные схемы, частотные свойства. Интегральные полупроводниковые конденсаторы. Диффузионные конденсаторы, конструкции и основные характеристики. Типы p-n переходов, барьерная емкость. МДП-конденсаторы, эквивалентные схемы. Интегральные биполярные транзисторы. Различия дискретных и интегральных транзисторов, способы изоляции, технология. Интегральные p-n-p транзисторы, характеристики и топология. Многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторы. Составные транзисторы в ИМС. Транзисторы с барьером Шоттки. Контакт металл-полупроводник. Конструкции транзисторов с барьером Шоттки. Частотные характеристики. Логические элементы на биполярных транзисторах, ТТЛ, ТТЛШ-логики. Интегральные диоды.
1.3	Интегральные схемы на МДП-транзисторах	Сравнительные характеристики МДП и биполярных ИМС. Базовая КМОП-технология. Разновидности КМОП-технологий. Пассивные элементы в базовой КМОП-технологии. N-канальные и p-канальные МОПТ в КМОП-технологии. Модели расчета порогового напряжения МОП-транзисторов. Ограничения быстродействия МДП-транзисторов. БиКМОП-технология. Использование материалов с высокой подвижностью носителей.
1.4	Основы проектирования топологии интегральных схем	Топологические слои базовой КМОП-технологии. Правила проектирования Мида-Конвей. Согласование элементов, топология с общим центром. Фиктивные элементы. Охранные кольца. Основы проектирования топологии стандартных ячеек.

1.5	Физические основы короткоканальных эффектов	Критерий короткого канала. Модуляция длины канала (CLM). Снижение порогового напряжения, вызванное напряжением на стоке (DIBL). Прокол между стоком и истоком. Влияние горячих носителей заряда. Токи утечки, индуцированные затвором (GIDL, GISL). Изменение подвижности носителей в канале. Возрастание роли подпороговой проводимости.
1.6	Конструктивно-технологические особенности субмикронных интегральных схем	Использование high-k подзатворного диэлектрика. Силицидные, полицидные, металлические затворы. Особенности технологии медной металлизации. LDD-области в субмикронных МОПТ. Стоки с rocket-областями. Ретроградное распределение примеси в канале.
1.7	Непланарные МОП-транзисторы	Предел масштабирования классических планарных МОПТ. Дорожная карта ведущих полупроводниковых фабрик. Транзисторы FinFET, GAAFET: структура, топология, основные параметры. Технологии NanoSheet, ForkSheet, CFET. FinFET-транзисторы на материалах с высокой подвижностью носителей.
1.8	Качество и надежность интегральных схем	Показатели качества ИМС. Виды и механизмы отказов ИМС. Испытание ИМС. Расчет надежности ИМС.
Лабораторные работы		
2.1	Введение	
2.2	Интегральные схемы на биполярных транзисторах	Л.р. №1. Проектирование интегральных резисторов Л.р. №2. Проектирование интегральных конденсаторов Л.р. №3. Проектирование элементов ТТЛ-логики
2.3	Интегральные схемы на МДП-транзисторах	Л.р. №4. Расчет малосигнальных параметров интегральных МОП-транзисторов.
2.4	Основы проектирования топологии интегральных схем	Л.р. №5. Проектирование топологии логических элементов в КМОП-технологии. Л.р. №6. Проектирование топологии простого токового зеркала. Л.р. №7. Проектирование топологии дифференциальной пары.
2.5	Физические основы короткоканальных эффектов	
2.6	Технологические особенности субмикронных интегральных схем	
2.7	Непланарные МОП-транзисторы	Л.р. №8. Проектирование топологии логических элементов на основе FinFET-транзисторов.
2.8	Качество и надежность интегральных схем	

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)			
		Лекции	Практические	Самостоятельная работа	Всего
1	Введение	2	-	2	4
2	Интегральные схемы на биполярных транзисторах	8	6	4	18
3	Интегральные схемы на МДП-транзисторах	6	2	2	10

4	Основы проектирования топологии интегральных схем	4	6	4	14
5	Физические основы короткоканальных эффектов	4	-	2	6
6	Конструктивно-технологические особенности субмикронных интегральных схем	4	-	2	6
7	Непланарные МОП-транзисторы	4	2	4	10
8	Качество и надежность интегральных схем	2	-	2	4
Итого:		34	16	22	72
Итого по курсу					72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Изучение дисциплины «Физические основы микроэлектроники» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Метод преподавания – проблемный, форма обучения – групповая, форма общения – интерактивная. Обязательное посещение лабораторных занятий и текущих аттестаций.

Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов. Студентам, чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить как старое, так и новое, углубит понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнится, когда требуется.

Следует помнить, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план;
- уметь выделить основное, главное;
- усвоить значение примеров и иллюстраций;
- связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
- представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.

Существует несколько общих правил работы на лекции:

- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;

- к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;

- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;

- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и незнакомое, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;

- записывать надо сжато;

- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Самостоятельная работа студентов наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью. Самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности. Она обеспечивает формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа студента позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу студентов и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность студентов должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности студента по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных студентом знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы студента предполагает наличие следующих составляющих: понимание методологических основ построения изучаемых знаний; выделение главных структур учебного курса; формирование средств выражения в данной области; построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа студента при изучении курса «Физические основы микроэлектроники» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, подготовку отчетов о выполнении лабораторных работ, подготовку к зачету.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Физические основы микроэлектроники» включает в себя:

изучение теоретической части курса	- 6 часов;
подготовка отчетов	- 6 часов;
подготовка к зачету	- 10 часов;
	Итого - 22 часа.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Степаненко И. П. Основы микроэлектроники: учебное пособие для вузов / И.П. Степаненко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 488 с.
2	Угрюмов Е. П. Цифровая схемотехника: [учебное пособие] / Е.П. Угрюмов. – 3-е изд. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2010. – 797 с.
3	Щука А. А. Нанозлектроника: учебное пособие / А.А. Щука; МФТИ; под общ. ред. Ю.В. Гуляева. – М. : Физматкнига, 2007. – 463 с.
4	Красников Г. Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов / Г. Красников. – изд. 2-е, испр. – Москва: Техносфера, 2011. – 799 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5	Попов В. Д. Физические основы проектирования кремниевых цифровых интегральных микросхем в монолитном и гибридном исполнении: учебное пособие / В.Д. Попов, Г.Ф. Белова. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2013. – 207 с.
6	Денисенко, В. В. Компактные модели МОП-транзисторов для SPICE в микро-и нанозлектронике : монография / В. В. Денисенко. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 408 с. — ISBN 978-5-9221-1200-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/2136
7	Петров, М. Н. Моделирование компонентов и элементов интегральных схем : учебное пособие / М. Н. Петров, Г. В. Гудков. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 464 с. — ISBN 978-5-8114-1075-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/209609
8	Зебрев, Г. И. Физические основы кремниевой нанозлектроники : учебное пособие / Г. И. Зебрев. — 4-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 243 с. — ISBN 978-5-00101-830-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/135537

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
9	Open Circuit Design <URL: http://opencircuitdesign.com/ >
10	Peardrop Design Systems <URL: https://peardrop.co.uk/ >
16	SkyWater SKY130 PDK <URL: https://skywater-pdk.readthedocs.io/en/main/ >

16. Учебно-методическое обеспечение для организации самостоятельной работы:

№ п/п	Источник
-------	----------

1	Введение в системы автоматизированного проектирования интегральных микросхем: учебно-методическое пособие. Ч. 1 / сост. : А.В. Тучин, Е.Н. Бормонтов, К.Г. Пономарев. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2017. – 110 с.
2	Введение в системы автоматизированного проектирования интегральных микросхем : учебно-методическое пособие. Ч. 2 / сост.: А. В. Тучин, А. Н. Шебанов, Е. Н. Бормонтов. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2018. – 37 с.

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебного процесса по дисциплине:

№ п/п	Источник
1	http://www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
2	Федеральный портал «Российское образование» http://www.edu.ru

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа - мультимедийный кабинет кафедры ФППиМЭ: ноутбук emachines e510, проектор Panasonic PT-LC55E, экран.

Лаборатория спецпрактикумов кафедры ФППиМЭ: Цифровые осциллографы АКИП 4115/4А - 6 шт., функциональные генераторы Rigol DG1022 - 6 шт., лабораторный стенд для исследования полупроводниковых свойств твердых тел - 1 шт., лабораторный стенд для исследования биполярных структур - 1 шт.; лабораторный стенд для исследования униполярных структур - 1 шт.; лабораторный стенд для исследования вольт-фарадных характеристик - 1 шт.; измерители RLC E7-12 - 2 шт., компьютеры Pentium Dual Core - 5 шт.

Аудитория для самостоятельной работы: компьютерный класс с доступом к сети Интернет: компьютеры (мониторы, системные блоки) – Pentium Dual Core (10 шт.)

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
1	Введение	ПК-4	ПК-4.1	Перечень вопросов
2	Интегральные схемы на биполярных транзисторах	ПК-4	ПК-4.1	Лабораторные работы №1-3
3	Интегральные схемы на МДП-транзисторах	ПК-4	ПК-4.1	Лабораторная работа №4
4	Основы проектирования топологии интегральных схем	ПК-4	ПК-4.1	Лабораторные работы №5-7
5	Физические основы короткоканальных эффектов	ПК-1	ПК-1.1	Перечень вопросов
6	Технологические особенности субмикронных интегральных схем	ПК-4	ПК-4.1	Перечень вопросов
7	Непланарные МОП-транзисторы	ПК-4	ПК-4.1	Лабораторная работа №8
8	Качество и надежность интегральных схем	ПК-4	ПК-4.13	Перечень вопросов

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
Промежуточная аттестация: форма контроля – зачет				Вопросы к зачету

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью результатов выполнения лабораторных работ.

Перечень лабораторных работ

- Л.р. №1. Проектирование интегральных резисторов.
- Л.р. №2. Проектирование интегральных конденсаторов.
- Л.р. №3. Проектирование элементов ТТЛ-логики.
- Л.р. №4. Расчет малосигнальных параметров интегральных МОП-транзисторов.
- Л.р. №5. Проектирование топологии логических элементов в КМОП-технологии.
- Л.р. №6. Проектирование топологии простого токового зеркала.
- Л.р. №7. Проектирование топологии дифференциальной пары.
- Л.р. №8. Проектирование топологии логических элементов на основе FinFET-транзисторов.

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине – *зачет*. Оценка за освоение дисциплины определяется ведущим дисциплину преподавателем как экспертом.

Перечень вопросов к зачету

1. Классификация интегральных схем по функциональному назначению, методам изготовления, степени интеграции.
2. Этапы проектирования интегральных схем.
3. Диффузионные интегральные резисторы.
4. Диффузионные пинч-резисторы
5. Ионно-легированные интегральные резисторы,
6. Интегральные полупроводниковые конденсаторы.
7. Интегральные биполярные транзисторы.
8. Способы изоляции интегральных транзисторов.
9. Интегральные p-n-p транзисторы.
10. Многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторы.
11. Составные транзисторы в ИМС.
12. Транзисторы с барьером Шоттки.
13. Логические элементы на биполярных транзисторах, ТТЛ, ТТЛШ-логики.
14. Интегральные диоды.
15. Сравнительные характеристики МДП и биполярных ИМС.
16. Базовая КМОП-технология.
17. Разновидности КМОП-технологий.
18. Пассивные элементы в базовой КМОП-технологии.

19. N-канальные и p-канальные МОПТ в КМОП-технологии.
20. Модели расчета порогового напряжения МОП-транзисторов.
21. Ограничения быстродействия МДП-транзисторов.
22. БиКМОП-технология.
23. Использование материалов с высокой подвижностью носителей в интегральных МОПТ.
24. Топологические слои базовой КМОП-технологии.
25. Правила проектирования Мида-Конвей.
26. Согласование элементов ИС: топология с общим центром.
27. Согласование элементов ИС: фиктивные элементы.
28. Согласование элементов ИС: охранные кольца.
29. Основы проектирования топологии стандартных ячеек.
30. Короткоканальные эффекты: модуляция длины канала (CLM), снижение порогового напряжения, вызванное напряжением на стоке (DIBL).
31. Короткоканальные эффекты: прокол между стоком и истоком, влияние горячих носителей заряда.
32. Короткоканальные эффекты: токи утечки, индуцированные затвором (GIDL, GISL), изменение подвижности носителей в канале, возрастание роли подпороговой проводимости.
33. Использование high-k подзатворного диэлектрика в субмикронных МОПТ.
34. Силицидные, полицидные, металлические затворы в субмикронных МОПТ.
35. Особенности технологии медной металлизации.
36. LDD-области в субмикронных МОПТ. Стоки с rocket-областями. Ретроградное распределение примеси в канале.
37. Предел масштабирования классических планарных МОПТ. Дорожная карта ведущих полупроводниковых фабрик.
38. Транзисторы FinFET, GAAFET: структура, топология, основные параметры.
39. Транзисторы GAAFET: структура, топология, основные параметры.
40. Технологии NanoSheet, ForkSheet, CFET.
41. FinFET-транзисторы на материалах с высокой подвижностью носителей.
42. Показатели качества ИМС.
43. Виды и механизмы отказов ИМС.
44. Испытание ИМС.
45. Расчет надежности ИМС.

Для текущего контроля успеваемости используется устный опрос, отчеты о ходе выполнения практических работ.

Каждому обучающемуся задаются вопросы по всем разделам спецкурса.

Оценка освоения компетенций обучающимися во время прохождения спецкурса осуществляется по следующим критериям:

- уровень профессиональной подготовки;
- ответы на контрольные вопросы.

Уровень профессионализма (профессиональные знания, умения, навыки и компетенции) оценивается по следующим показателям:

- умение формулировать цели исследований;
- адекватное применение физико-математического аппарата для решения поставленных задач;
- адекватная рефлексия выполняемой научно-практической деятельности.

На основании выполнения обучающимся программы спецкурса и с учетом критериев оценки итогов освоения спецкурса выставляется: «зачтено»/«не зачтено».

Критерии оценки работы обучающихся, которые соотносятся с уровнями сформированности компетенций:

- оценка «*зачтено*» выставляется при полном соответствии работы обучающихся всем вышеуказанным показателям: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически и в полном объеме. Данный уровень обязателен для всех осваивающих ООП;

- оценка «*не зачтено*» выставляется в случае несоответствия работы обучающегося всем требуемым показателям, неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении заданий, предусмотренных программой спецкурса.