



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«МИРЭА – Российский технологический университет»

**РТУ МИРЭА**

---

**УТВЕРЖДАЮ**

Первый проректор

\_\_\_\_\_ Н.И. Прокопов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**2.1.6 «Технология и оборудование для производства материалов и приборов  
электронной техники»**

Научная специальность

**2.2.3 «Технология и оборудование для производства материалов и приборов  
электронной техники»**

Форма обучения

**Очная**

Москва 2025

### **1. Цели освоения дисциплины**

Целями освоения дисциплины «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» являются:

1. Получение фундаментальных знаний в области технологий производства материалов и приборов электронной техники.

2. Формирование прикладных знаний, умений и владений в области материалов и приборов электронной техники

### **2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры**

Дисциплина «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» является обязательной дисциплиной образовательного компонента блока «Дисциплины (модули)» учебного плана научной специальности 2.2.3 «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники».

### **3. Требования к результатам освоения дисциплины «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники»**

В ходе освоения дисциплины «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» идет дальнейшее формирование элементов (знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности) аспиранта:

способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, способность к пониманию основных проблем в своей предметной области, выбору методов и средств их решения;

способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой своих исследований;

способность анализировать состояние научно-технической проблемы, систематизировать и обобщать научно-техническую информацию по теме исследований;

способность оценивать научную значимость и перспективы прикладного использования результатов исследований.

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

основные принципы, технологии и материалы современной электроники

Уметь:

анализировать электронную компонентную базу, технологии и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники

Владеть:

современными технологиями и методами в области электронной техники

#### 4. Содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» составляет 3 зачетных единицы (108 акад. часов).

**4.1. Распределение объема дисциплины по разделам (темам), семестрам, видам учебной работы и формам контроля.**

№ раздела	Семестр	Неделя семестра	Объем (в акад. час.)						<div> <div>Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)</div> <div>Формы промежуточной аттестации (по семестрам)</div> </div>		
			Всего	Контактная работа (по видам учебных занятий)				С Р			Контроль
				Всего	ЛК	ПР	СР под рук.				
1	4	1-2	10	4	2	2		4	2	Устное собеседование; выполнение практических заданий	
2	4	3-5	14	6	2	4		4	4	Устное собеседование; выполнение практических заданий	
3	4	6-7	10	4	2	2		4	2	Устное собеседование; выполнение практических заданий	
4	4	8-9	10	4	2	2		4	2	Устное собеседование; выполнение практических заданий	
5	4	10-11	10	4	2	2		4	2	Устное собеседование; выполнение практических заданий	
6	4	12-13	10	4	2	2		4	2	Устное собеседование; выполнение практических заданий	
7	4	14-15	12	4	2	2		6	2	Устное собеседование; выполнение практических заданий	
8	4	16-18	16	6	4	2		6	4	Устное собеседование; выполнение практических заданий	
По материалам курса			16						16	Экзамен	
Всего в 4 семестре:			108	36	18	18	0	36	36		
Всего:			108	36	18	18	0	36	36		

#### 4.2. Наименование и содержание разделов дисциплины

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
1	Тенденции развития микроэлектронного производства.	Закон Мура и его роль в полупроводниковой промышленности. Проблемы масштабирования. Узловые точки. Дорожные карты.
2	Организация производства и экономика.	Экономические принципы развития отрасли. Влияние экономических факторов Заводы по производству интегральных схем: фабы. Концепция чистоты. Чистые комнаты: классификация и принципы функционирования. Концепция Minimal Fab.
3	Технологические операции полупроводникового производства.	Рост кристаллов. Эпитаксия. Отмывка. Литография. Ионная имплантация. Осаждение (PVD, CVD, ALD). Диффузионные процессы (окисление, отжиг). Травление. Химико-механическая полировка.
4	Транзисторный цикл изготовления интегральных схем (FEOL процесс).	Масштабирование транзисторных элементов. Правила Деннарда. Диэлектрики с высокой диэлектрической проницаемостью (high-k диэлектрики). Технологии увеличения подвижности носителей заряда в канале транзистора. Переход от планарной структуры к новой архитектуре транзисторного элемента (КНИ, FinFET технологии). Сравнительный анализ технологий FDSOI и FinFET. Современное состояние и перспективы развития суб-10 нм транзисторных технологий: изменение архитектуры и материалов.
5	Многоуровневые системы металлизации интегральных схем (BEOL процесс).	Резистивно-емкостная задержка сигнала в системах металлизации. Основные технологические схемы: процесс заполнения металлического рельефа диэлектриком, процесс Damascene. Проблемы уменьшения топологических размеров в системах металлизации (рост временных задержек сигнала, рост тепловыделений, перекрестные помехи). Уменьшение диэлектрической проницаемости изолирующего диэлектрика (low-k диэлектрики). Перспективные low-k диэлектрики. Возможные сценарии в технологиях менее 7 нм: процессы молекулярной самосборки кремнийорганических материалов с переходом на процесс заполнения металлического рельефа диэлектриком или PECVD SiCOH в процессе Damascene. Альтернативные материалы для дальнейшей перспективы.
6	Технологии запоминающих устройств.	Технология DRAM. Энергонезависимые устройства памяти МНОП и Flash. 3D NAND.
7	Перспективные технологии запоминающих устройств.	Перспективные технологии энергонезависимой памяти: MRAM, PRAM, RRAM, FRAM. Сравнительная характеристика, достигнутый уровень, материалы и технологии.
8	Перспективы развития	Методы и технологии в производстве изделий

Номер темы	Наименование темы	Содержание темы
	отрасли.	лидеров полупроводниковой индустрии.

### 4.3. Лабораторные работы (ЛБ)

Учебным планом не предусмотрены.

### 4.4. Практические занятия (ПР)

№ п/п	Номер темы дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоемкость (в акад. часах)
1	1	Перспективные эффекты	2
2	2	Наноматериалы	4
3	3	Электроны в металлах	2
4	4	Полупроводники в электронной технике	2
5	5	ТДП диэлектриков, связь с поляризуемостью.	2
6	6	Транспортные явления	2
7	7	Магнетики	2
8	8	Нанотехнологии	2
Всего:			18

## 5. Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Виды самостоятельной работы обучающегося, порядок и сроки ее выполнения:

подготовка к лекциям и практическим занятиям с использованием конспекта лекций, материалов практических занятий и приведенных ниже (п 8.1 и 8.2) источников (в соответствии с расписанием занятий);

оформление отчетов по выполненным практическим заданиям и теоретическая подготовка к их сдаче (в соответствии с расписанием занятий).

Перечень вопросов для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации – в соответствии с тематикой дисциплины.

## 6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

**6.1. Описание показателей и критериев оценивания знаний, умений и владений на различных этапах их формирования, описание шкал оценивая**

**6.1.1. Показатели и критерии оценивания, используемые шкалы оценивания**

Показатели оценивания	Критерии оценивания	Средства оценивания	Шкалы оценивания
Умение	Правильность выполнения учебных заданий, аргументированность выводов	Текущий контроль: выполнение устных/письменных заданий, тестирование	Шкала 1

Показатели оценивания	Критерии оценивания	Средства оценивания	Шкалы оценивания
		<i>Промежуточная аттестация:</i> экзамен	
<b>Знание</b>	Правильность и полнота ответов, глубина понимания вопроса	<i>Текущий контроль:</i> выполнение устных/письменных заданий, тестирование  <i>Промежуточная аттестация:</i> экзамен	Шкала 1
<b>Владение</b>	Обоснованность и аргументированность выполнения учебной деятельности	<i>Текущий контроль:</i> выполнение практического задания, тестирование  <i>Промежуточная аттестация:</i> экзамен	Шкала 2

### 6.1.2. Описание шкал оценивания степени сформированности знаний, умений и владений

#### **Шкала 1.** Оценка сформированности знаний, умений и владений

Обозначения		Формулировка требований к степени сформированности знаний, умений и владений		
Цифр.	Оценка	Знать	Уметь	Владеть
1	Неудовлетворительно	Отсутствие знаний	Отсутствие умений	Отсутствие навыков
2	Неудовлетворительно	Фрагментарные знания	Частично освоенное умение	Фрагментарное применение
3	Удовлетворительно	Общие, но не структурированные знания	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение	В целом успешное, но не систематическое применение
4	Хорошо	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания	В целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков
5	Отлично	Сформированные систематические знания	Сформированное умение	Успешное и систематическое применение навыков

#### **Шкала 2.** Комплексная оценка сформированности знаний, умений и владений

Обозначения		Формулировка требований к степени сформированности знаний, умений и владений
Цифр.	Оценка	
1	Неудовлетворительно	Не имеет необходимых представлений о проверяемом материале
2	Удовлетворительно или неудовлетворительно (по усмотрению преподавателя)	Знать на уровне <b>ориентирования</b> , представлений. Субъект учения знает основные признаки или термины изучаемого элемента содержания, их отнесенность к определенной науке, отрасли или объектам, узнает их в текстах, изображениях или схемах и знает, к каким источникам нужно обращаться для более детального его усвоения
3	Удовлетворительно	Знать и уметь на <b>репродуктивном</b> уровне. Субъект учения знает изученный элемент содержания репродуктивно: произвольно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях
4	Хорошо	Знать, уметь, владеть на <b>аналитическом</b> уровне. Зная на репродуктивном уровне, указывать на особенности и взаимосвязи изученных объектов, на их достоинства, ограничения, историю и перспективы развития и особенности для разных объектов усвоения
5	Отлично	Знать, уметь, владеть на <b>системном</b> уровне. Субъект учения знает изученный элемент содержания системно, произвольно и доказательно воспроизводит свои знания устно, письменно или в демонстрируемых действиях, учитывая и указывая связи и зависимости между этим элементом и другими элементами содержания учебной дисциплины, его значимость в содержании учебной дисциплины

**6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы**, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования знаний, умений и владений в процессе освоения образовательной программы.

**Типовые вопросы и задания для текущего контроля** (оценка сформированности элементов (знаний, умений, навыков) в рамках текущего контроля по дисциплине) по разделам дисциплины

1. Какой параметр можно использовать для характеристики объема производства фаба?
2. Какова типичная производительность полупроводникового фаба?
3. Что является основной задачей полупроводникового pure-play фаба?
4. Назовите основные источники загрязнений в полупроводниковом производстве.
5. Какие мероприятия предполагает концепция чистоты в полупроводниковом производстве?

6. Сколько частиц содержится в 1 кубическом футе помещения класса 10 согласно федеральному стандарту 209B?
7. Класс чистоты ISO 2: сколько частиц содержится в 1 кубическом метре помещения?
8. Что предполагает Front-End-Off-Line (FEOL) производственный цикл?
9. Что предполагает Back-End-Off-Line (BEOL) производственный цикл?
10. Из какого материала изготавливаются пластины для производства КМОП интегральных схем?
11. Каким методом выращивается кремний для производства КМОП интегральных схем?
12. С какой целью используется процесс эпитаксии?
13. Назовите основные технологические процессы кристалльного микроэлектронного производства.
14. Какой диаметр может иметь кремниевая пластина для производства интегральных схем?
15. Какой вид электромагнитного излучения используется в установках фотолитографии?
16. Как можно повысить разрешающую способность в процессах фотолитографии?
17. Какой материал используется в качестве фоточувствительного слоя в процессе фотолитографии?
18. Какой метод используется для изменения проводимости в полупроводнике?
19. Какой из методов обеспечит лучшую анизотропность травления: жидкостное химическое травление или плазмо-химическое травление?
20. Можно ли использовать технологию напряженного кремния применяется в FEOL процессе для увеличения подвижности носителей заряда в канале транзистора?
21. Определите, можно ли исключить неконтролируемые токи, протекающие вне канала транзистора путем использования конструкции FinFET или high-k диэлектрика?
22. С какой целью в транзисторной технологии используется диэлектрик с высокой диэлектрической проницаемостью high-k?
23. С уменьшением минимальных топологических размеров транзистора диэлектрическую проницаемость подзатворного диэлектрика необходимо уменьшать или увеличивать?



- 24.Какая из технологий НЕ используется в технологиях менее 22 нм:  
технология FinFET или технология самосовмещенного поликремниевого затвора?
- 25.При разработке ИС с технологией менее 22 нм как следует располагать канал транзистора: ближе к затвору или дальше? Почему?
- 26.Какую конструкцию транзистора предпочтительнее использовать в технологии 14 нм: планарный транзистор или FinFET?
- 27.Какая конструкция транзистора предпочтительнее в технологии менее 3 нм: FinFET или GAA (круговой затвор)?
- 28.Является ли энергонезависимой DRAM память?
- 29.Что представляет из себя конструкция DRAM?
- 30.Является ли энергонезависимой Flash память?
- 31.Более быстрое устройство памяти имеет меньший объём?
- 32.Какие конструкции используются для увеличения емкости конденсатора DRAM?
- 33.Каким критериям должен отвечать диэлектрик конденсатора DRAM ячейки?
- 34.Как связана ширина запрещенной зоны с величиной диэлектрической проницаемости диэлектрика?
- 35.Низкие токи утечки имеет диэлектрик с узкой запрещенной зоной?
- 36.Каков основной тренд развития DRAM устройств?
- 37.Каков принцип работы Flash памяти?
- 38.Сколько слоев может содержать современная 3D NAND память?
- 39.Какими свойствами должна обладать универсальная («идеальная») память?
- 40.Какой вид памяти претендует на звание универсальной памяти?

**Перечень вопросов для подготовки к экзамену** (оценка сформированности элементов (знаний, умений, навыков) в рамках промежуточной аттестации по дисциплине).

1. Основные тенденции и движущие силы развития микроэлектронного производства. История становления и развития отрасли. Роль отечественных ученых. Закон Мура и его роль в полупроводниковой промышленности. Современное состояние. Перспективные планы («дорожные карты») развития полупроводниковой индустрии. Уменьшение минимальных топологических размеров («узловые точки»).

2. Заводы по производству интегральных схем: фабы. Принципы организации и оборудование. Концепция чистоты. Чистые комнаты: классификация и принципы функционирования. Основные бизнес-модели (foundry, fabless и пр.). Характеристика ведущих мировых и отечественных производителей.
3. Метод Чохральского (CZ) и зонной плавки (FZ). Преимущества, ограничения, назначение. Легирование, коэффициент сегрегации примеси, факторы, влияющие на распределение примеси в CZ. Влияние тепловой конвекции. Способы уменьшения влияния тепловой конвекции. Примесные загрязнения в монокристаллическом кремнии. Роль кислорода и углерода. Преципитаты кислорода. Виды дефектов в монокристаллическом кремнии. Виды кремниевых пластин для производства ИС.
4. Эпитаксия кремния. Характеристика процессов с использованием различных прекурсоров. Кинетика роста. Оборудование.
5. Фотолитография. Технологические операции и общая характеристика процесса. Фоторезисты. Минимальный размер элемента, длина волны. Особенности UV и EUV-литографии.
6. Ионная имплантация. Общая характеристика процессов. Конструкция установок. Процессы отжига после проведения ионной имплантации. Отжиг «легких» и «тяжелых» атомов легирующей примеси.
7. Процессы осаждения. Физическое осаждение (PVD) – методы и оборудование. Магнетронное распыление. Преимущество, ограничения, область применения.
8. Процессы осаждения. Химическое осаждение из газовой фазы (CVD). Методы и оборудование. Преимущество, ограничения, область применения. Процессы CVD осаждения диоксида кремния и нитрида кремния. Прекурсоры, температуры, применение.
9. Процессы осаждения. Атомно-слоевое осаждение (ALD). Принципы, прекурсоры и оборудование. Преимущество, ограничения, область применения.
10. Процессы осаждения. Химическое осаждение из растворов (CSD). Золь-гель технология. Реакции гидролиза и конденсации. Формирование пленок органосиликатных стекол. Процессы планаризации. Преимущество, ограничения, области применения.
11. Процессы электрохимического осаждения меди. Технология создания системы медной металлизации (Damascene, Dual Damascene).
12. Процессы «жидкостного» и «сухого» травления. Физико-химические процессы и области применения. Основные характеристики процесса травления. Селективность. Анизотропность.

13. Термическое окисление кремния. Модель Дила-Гроува. Окисление в сухом и влажном кислороде. Оборудование. Процессы формирования подзатворного диэлектрика. Стабилизация зарядовых характеристик диэлектрика и границы раздела.
14. Химико-механическая планаризация. Характеристика метода, оборудование, области применения.
15. Транзисторный цикл изготовления интегральных схем (FEOL процесс). Уменьшение минимальных топологических размеров (скейлинг). Правила масштабирования Деннарда. Технологический цикл изготовления планарного транзистора. Проблемы уменьшения размеров транзисторных элементов.
16. Диэлектрики с высокой диэлектрической проницаемостью (*high-k* диэлектрики). Технологии увеличения подвижности носителей заряда в канале транзистора. Технологический процесс изготовления КМОП с металлическим затвором и *high-k* диэлектриком.
17. Эффекты короткого канала в МДП-транзисторе. Токи утечки. Переход от планарной структуры транзистора к новой архитектуре (кремний на изоляторе - КНИ, FinFET технология). Сравнительный анализ технологий КНИ и FinFET.
18. Современное состояние и перспективы развития суб-10 нм транзисторных технологий: изменение архитектуры и материалов. Перспективы развития КМОП технологий: технологии кругового затвора (GAA, Forksheet, CFET и пр.), 2D-полупроводники, пути преодоления Больцмановского предела.
19. Многоуровневые системы металлизации интегральных схем (BEOL процесс). Основные технологические схемы: процесс заполнения металлического рельефа диэлектриком и процесс Damascene. Проблемы уменьшения топологических размеров в системах металлизации (рост временных задержек сигнала, рост тепловыделений, перекрестные помехи). Переход на медные проводники. Уменьшение диэлектрической проницаемости изолирующего диэлектрика (*low-k* диэлектрики).
20. Материалы и технологии в суб-10 нм процессах создания многоуровневых систем металлизации интегральных схем (BEOL процесс). Проблемы скейлинга медных проводников. Критерии поиска альтернативных металлов. Проблема металлического барьера. Co и Ru как потенциальные кандидаты в суб-10 нм процессах. Перспективные *low-k* диэлектрики.
21. Запоминающие устройства (ЗУ). Основные потребители и требования к параметрам устройств памяти. Иерархия устройств памяти. Основные виды и характеристики ЗУ: статическая память (SRAM), динамическая память с произвольной выборкой (DRAM), флэш память (NAND, NOR),

- перспективные виды памяти (магниторезистивная MRAM, на фазовых переходах PCRAM, резистивная ReRAM, сегнетоэлектрическая FeRAM).
22. Технология запоминающих устройств с произвольной выборкой (DRAM). Ячейка, особенности функционирования. Масштабирование: скейлинг транзистора, скейлинг конденсатора, изменения в архитектуре. Перспективные планы развития технологии DRAM. Гетерогенная интеграция.
23. Энергонезависимые устройства памяти. Физические основы работы ячеек: транзистор со структурой МНОП и транзистор с плавающим затвором. NOR и NAND архитектура. Тенденции масштабирования: переход от 2D к 3D NAND архитектуре. Процесс изготовления и принцип работы 3D NAND. Мультибитовые ячейки. Перспективы развития технологии. Гетерогенная интеграция.
24. Перспективные технологии высокоскоростных энергонезависимых запоминающих устройств. Магниторезистивная память - MRAM. Принцип действия и конструкция ячеек. Toggle и STRAM. Основные преимущества и недостатки. Современный уровень, области применения и перспективы.
25. Перспективные технологии высокоскоростных энергонезависимых запоминающих устройств. Память на фазовых переходах - PCRAM. Принцип действия и конструкция ячеек. Основные преимущества и недостатки. Современный уровень, области применения и перспективы.
26. Перспективные технологии высокоскоростных энергонезависимых запоминающих устройств. Резистивная память - ReRAM. Принцип действия и конструкция ячеек. Элементы с изменением валентности и термохимическим способом переключения. Элементы, основанные на движении ионов металлов. Основные преимущества и недостатки. Современный уровень и перспективы. Области применения. 3D архитектура. Нейроморфные вычисления.
27. Перспективные технологии высокоскоростных энергонезависимых запоминающих устройств. Сегнетоэлектрическая память - FeRAM. Принцип действия и конструкция ячеек. 1T и 1T/1C ячейки. Сегнетоэлектрические перовскиты. Конструкция ячейки и используемые материалы. Основные преимущества и ограничения. Бинарные сегнетоэлектрики со структурой флюорита. Современный уровень и перспективы. Области применения.

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

Процедуры и средства оценивания элементов знаний, умений и владений

по дисциплине «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники».

Процедура проведения	Средство оценивания				
	Текущий контроль				Промежуточный контроль
	Выполнение устных заданий	Выполнение письменных заданий	Выполнение практических заданий	Выполнение тестовых заданий	Экзамен
Продолжительность контроля	По усмотрению преподавателя	По усмотрению преподавателя	По усмотрению преподавателя	По усмотрению преподавателя	В соответствии с принятыми нормами времени
Форма проведения контроля	Устный опрос	Письменный опрос	Письменный опрос	Письменный опрос	В письменной форме
Вид проверочного задания	Устные вопросы	Письменные задания	Практические задания	Письменный опрос	Экзаменационный билет
Форма отчета	Устные ответы	Ответы в письменной форме	Ответы в письменной форме	Ответы в письменной форме	Ответы в письменной форме
Раздаточный материал	Нет	Справочная литература	Справочная литература	Справочная литература	Справочная литература

## 7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Дисциплина «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники» предусматривает лекции и практические занятия. Успешное изучение дисциплины требует посещения лекций, активной работы на практических занятиях, выполнения учебных заданий преподавателя, ознакомления с основной и дополнительной литературой.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на практическое занятие и указания на самостоятельную работу.

При подготовке к лекционным занятиям аспирантам необходимо: перед очередной лекцией необходимо просмотреть конспект материала предыдущей лекции. При затруднениях в восприятии материала следует обратиться к основным литературным источникам. Если разобраться в материале опять не удалось, то обратитесь к лектору (по графику его консультаций) или к преподавателю на практических занятиях.

Практические занятия завершают изучение наиболее важных тем учебной дисциплины. Они служат для закрепления изученного материала, развития умений и навыков подготовки докладов, сообщений, приобретения опыта устных публичных выступлений, ведения дискуссии, аргументации и защиты выдвигаемых положений, а также для контроля преподавателем степени подготовленности аспирантов по изучаемой дисциплине.

При подготовке к практическому занятию аспиранты имеют возможность воспользоваться консультациями преподавателя.

При подготовке к практическим занятиям аспирантам необходимо:

приносить с собой рекомендованную преподавателем литературу к конкретному занятию;

до очередного практического занятия по рекомендованным литературным источникам проработать теоретический материал, соответствующей темы занятия;

в начале занятий задать преподавателю вопросы по материалу, вызвавшему затруднения в его понимании и освоении при решении задач, заданных для самостоятельного решения;

в ходе семинара давать конкретные, четкие ответы по существу вопросов; на занятии доводить каждую задачу до окончательного решения, демонстрировать понимание проведенных расчетов (анализов, ситуаций), в случае затруднений обращаться к преподавателю.

Аспирантам, пропустившим занятия (независимо от причин), не имеющие письменного решения задач или не подготовившиеся к данному практическому занятию, рекомендуется не позже чем в 2-недельный срок явиться на консультацию к преподавателю и отчитаться по теме, изучавшейся на занятии. Аспиранты, не отчитавшиеся по каждой не проработанной ими на занятиях теме к началу экзаменационной сессии не допускаются к экзамену.

## **8. Ресурсное обеспечение дисциплины**

### **8.1. Основная и дополнительная учебная литература, необходимая для освоения дисциплины**

#### **а) основная литература:**

1. Общая теория технологий и микроэлектроника / Г.Я.Красников, Е.С.Горнев, И.В.Матюшкин. – М.: Техносфера, 2020. – 433 с.

2. Щука А. А. Нанoeлектроника: учебное пособие для вузов. - М.: Лаборатория знаний, 2019. - 342 с.

3. Лозовский В. Н., Лозовский С. В. Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Санкт-Петербург: Лань, 2019. - 332 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/1139436>)

#### **Дополнительная литература:**

1. Воротилов К. А., Мухортов В. М., Сигов А. С. Интегрированные сегнетоэлектрические устройства: - М.: Энергоатомиздат, 2011. - 174 с

2. Капустин В. И., Сигов А.С. Материаловедение и технологии электроники: учебное пособие для вузов. - М.: ИНФРА-М, 2014. - 427 с.

3. Рыжонков Д. И., Левина В. В., Дзидзигури Э. Л. Наноматериалы: учебное пособие. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2017. - 366 с.

4. Космическая электроника: В 2-х кн. // Белоус А., Солодуха В., Шведов С. М.: – Техносфера, 2015. – 635с., 487 с.

5. Соколов С. В., Титов Е. В. Электроника [Электронный ресурс]:. - Москва:

**Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

1. Перспективный план развития отрасли — The International Technology Roadmap for Semiconductors (<http://public.itrs.net>)
2. Основные информационные ресурсы отрасли:
3. Отраслевые журналы Semiconductor International (<http://www.reedbusinessinformation.com>), Solid State Technology
4. (<http://www.reedbusinessinformation.com>), журнал Elsevier, посвященный разработкам в области материаловедения — Materials Today (<http://www.materialstoday.com/>).
5. Основной ресурс индустрии: [www.semiconductor.net](http://www.semiconductor.net):
6. Группа ведущих компаний- производителей полупроводниковых устройств: [www.sematech.org](http://www.sematech.org).

**8.2. Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимые для освоения дисциплины**

1. <http://library.mirea.ru/> научно-техническая библиотека РТУ МИРЭА
2. <https://e.lanbook.com/> электронно-библиотечная системы (ЭБС) Издательства «Лань»
3. Международные дорожные карты развития полупроводниковой промышленности - [https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2018/06/0\\_2015-ITRS-2.0-Executive-Report-1.pdf](https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2018/06/0_2015-ITRS-2.0-Executive-Report-1.pdf)
4. Международные дорожные карты для приборов и систем - <https://irds.ieee.org/>
5. СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА ПЕРИОД ДО 2030 ГОДА – сайт Минпроторга
6. Ассоциация производителей полупроводниковых компонентов - <https://www.semiconductors.org/>
7. Технологический процесс в электронной промышленности материал Википедии - [https://ru.wikipedia.org/wiki/Технологический\\_процесс\\_в\\_электронной\\_промышленности](https://ru.wikipedia.org/wiki/Технологический_процесс_в_электронной_промышленности)
8. Сайт журнала Электроника: наука, технология, бизнес - <http://www.electronics.ru/>
9. Сайт журнала Технология твердотельной электроники - <https://electroiq.com/>
10. MaterialsToday сайт журнала - <http://www.materialstoday.com/>
11. Международный ресурс для поиска и обмена научными публикациями

- <https://www.researchgate.net/>
- 12. Анализ основных тенденций развития отрасли - WikiChip (<https://fuse.wikichip.org/>)
- 13. Независимый анализ продукции - TechInsights (<https://www.techinsights.com/>)
- 14. Русскоязычное интернет-издание о компьютерной технике, информационных технологиях и программных продуктах - iXBT.com (<https://www.ixbt.com/>)
- 15. Журнал одного из основных разработчиков передовых технологических процессов микроэлектронного производства компании IMEC - IMEC magazine ([www.imecmagazine.be](http://www.imecmagazine.be))

**8.3. Информационные технологии,** используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем:

- пакет офисных программ Microsoft Office;
- пакет офисных программ LibreOffice;
- среда для разработки программного обеспечения Qt Creator 5.6.

**8.4. Материально-техническая база,** необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

- учебная аудитория;
- компьютерный класс.