

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГТУ», ВГТУ)**



УТВЕРЖДАЮ

И.о. ректора ВГТУ

Д.К. Проскурин

«30» 03 2022 г.

Система менеджмента качества

**ПРОГРАММА
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ
ПРИ ПРИЕМЕ НА ОБУЧЕНИЕ
ПО ПРОГРАММАМ ПОДГОТОВКИ
НАУЧНЫХ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ
КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ**

2.2 «ЭЛЕКТРОНИКА, ФОТОНИКА, ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И СВЯЗЬ»
(группа научных специальностей)

**2.2.2 «ЭЛЕКТРОННАЯ КОМПОНЕНТНАЯ БАЗА
МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ, КВАНТОВЫХ УСТРОЙСТВ»**
(научная специальность)

Воронеж 2022

**I. Перечень элементов содержания, проверяемых
на вступительном испытании по научной специальности
«Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники,
квантовых устройств»**

**1. Физические вопросы твердотельной электроники,
микро- и нанoeлектроники**

1. Строение твердого тела. Строение атома. Кристаллическая решетка, кристаллы, твердые тела. Колебания кристаллической решетки, акустические и оптические фононы. Теплоемкость и теплопроводность твердых тел. Температура Дебая.

2. Основы зонной теории твердых тел. Электрон в периодическом поле. Уравнение Шредингера для электрона в кристалле. Энергетический спектр электрона в кристалле. Зоны Бриллюэна. Диэлектрики, полупроводники, металлы.

3. Полупроводники. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Уровень Ферми. Собственные и примесные полупроводники. Вырожденные полупроводники. Примесные уровни. Физические и химические свойства полупроводниковых материалов: Ge, Si, GaAs и твердых растворов.

4. Носители заряда в полупроводнике. Подвижность и объективная масса носителей. Зависимость подвижности от температуры. Гальваномагнитные и термоэлектрические эффекты. Взаимодействие носителей с упругими волнами в полупроводниках.

5. Узкозонные полупроводники и полуметаллы. Фазовые переходы в твердых растворах, ширина запрещенной зоны, подвижность и концентрация носителей при низких температурах.

6. Неравновесные носители в полупроводнике. Уравнение непрерывности. Время жизни. Механизмы рекомбинации. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда. Поверхностная рекомбинация.

7. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение света свободными носителями заряда. Собственное поглощение света решеткой. Поглощение света электронами, влияние внешних условий на спектр поглощения. Фоторезистивный эффект. Эффект Дембера. Фотомагнитноэлектрический эффект. Люминесценция.

8. Диэлектрики. Диэлектрическая проницаемость и диэлектрические потери. Электронная и ионная поляризуемость. Электропроводность диэлектриков и пробой.

9. Твердые тела при низких температурах. Электрон-фонное взаимодействие и длина свободного пробега электронов при малых kT . Фазовый переход и критические параметры в сверхпроводниках. Туннельные явления в сверхпроводниках, эффект Джозефсона. Резонансные явления. Аномалии теплоемкости и теплопроводности при низких температурах.

10. Поверхностные и контактные явления в твердых телах. Дебаева длина экранирования. Работа выхода и контактные разности потенциалов. Контакт металл-полупроводник. Барьер Шоттки. Поверхностные состояния.

2. Технология изготовления приборов твердотельной электроники, микро- и нанoeлектроники

1. Планарная технология, основные особенности и тенденция развития, Основные процессы планарной технологии.

2. Материалы, применяемые в планарной технологии. Основные характеристики кремния и арсенида галлия. Кристаллическая решетка кремния. Индексы Миллера.

3. Обработка поверхности кремния. Механическая обработка кремния, резка слитков на пластины, шлифовка и полировка пластин кремния. Химическая обработка кремния. Травление кремния: жидкостное, газовое, ионное и плазмохимическое. Загрязнения поверхности кремния и способы очистки, используемые в планарной технологии.

4. Методы сухого травления материалов: полупроводников, металлов, диэлектриков в технологии твердотельной электроники. Ионно-плазменное травление, ионно-лучевое, плазмохимическое, ионно-химическое травление.

5. Маскирующие и пассивирующие слои на поверхности. Получение слоев SiO_2 методом термического окисления кремния. Физические процессы при росте пленки SiO_2 . Фиксированный и подвижный заряд в SiO_2 . Зависимость толщины SiO_2 от режима окисления. Свойства слоев SiO_2 , нанесения на поверхность кремния. Другие методы получения SiO_2 . Получение свойства, использование в планарной технологии слоев Si_3N_4 .

6. Диффузия примесей в кремнии. Закон Фика. Уравнение диффузии и его основные решения. Методы осуществления диффузии в планарной технологии. Локальная диффузия. Диффузия при наличии отраженной полупроводниковой границы.

7. Литография. Фотолитография. Электронно-лучевая и рентгеновская литография. Фоторезисты, процессы, протекающие при их обработке. Особенности фотолитографии планарных приборов.

8. Эпитаксиальное выращивание слоев кремния. Основы процессов эпитаксиального выращивания. Хлоридный метод. Другие методы выращивания эпитаксиальных слоев. Методы легирования эпитаксиальных слоев. Дефекты, возникающие при выращивании эпитаксиальных слоев.

9. Особенности технологии изготовления полупроводниковых приборов и ИС на арсениде галлия. Обработка поверхности арсенида галлия, травление, металлизация, получение омических контактов к арсениду галлия и контактов типа барьера Шоттки.

10. Заключительные операции планарной технологии. Разделение пластин на кристаллы, монтаж кристаллов в корпус. Измерение параметров. Методы испытаний.

11. Способы изоляции компонентов интегральных схем. Изоляция обратнo смещенным р-п-переходом. Изоляция тонкой пленкой диэлектрика. Методы полной диэлектрической изоляции. Достоинства и недостатки полной диэлектрической изоляции компонентов интегральных схем.

12. Универсальные параметры интегральных схем. Критерий Джонсона, критерий качества, степень интеграции.

13. Основные технологические процессы, применяемые при изготовлении гибридных микросхем (ГИС). Активные и пассивные компоненты ГИС.

14. Подложки для гибридных интегральных схем. Классификация. Особенности технологии изготовления подложки.

15. Резисторы. Особенности конструкции. Технология изготовления резисторов ГИС.

16. Конденсаторы. Особенности конструкции. Технология изготовления конденсаторов ГИС.

17. Индуктивные элементы ГИС. Конструкция, особенности технологии изготовления.

18. Многослойная коммутация в ГИС. Особенности технологии создания межслойных соединений.

19. Гибридные интегральные схемы на полиамидном носителе. Особенности конструкции и технологии изготовления.

20. Методы межоперационного контроля и технологии ГИС.

3. Интегральная схемотехника

1. Электронно-дырочный переход. Классификация р-п-переходов. Ширина области объемного заряда. Вольт-амперная характеристика р-п-перехода. Пробой р-п-перехода.

2. Полупроводниковые диоды. Прямая и обратная характеристика реального диода. Переходные характеристики диодов. Высокочастотные диоды. Лавинно-пролетные, туннельные диоды, стабилитроны. Диоды Ганна и Шоттки.

3. Биполярные транзисторы. Основные процессы в плоскостном транзисторе. Статические характеристики. Схемы включения транзисторов. Статические и динамические параметры. Эквивалентная схема транзистора. Дрейфовые транзисторы.

4. Униполярные (полевые) транзисторы. Принципы действия МДП транзистора. Параметры и характеристики полевых транзисторов. МНОП транзисторы.

5. Пассивные компоненты интегральной схемотехники. Диффузионные конденсаторы. ТКЕ. Диффузионные резисторы. ТКС. Микрополосковые СВЧ структуры. Распределение RC-структуры.

6. Большие цифровые интегральные схемы (БИС). Схемотехнические и конструктивно-технологические проблемы. Повышение степени интеграции интегральных микросхем. Физические ограничения на размер компонентов. Проблема межсоединений. Избирательные и фиксированные межсоединения.

Проблема контроля БИС и оценка их надежности.

7. Гибридные интегральные схемы. Классификация по функциональному назначению. Многочиповые гибридные большие интегральные схемы.

8. Активные элементы СВЧ схем. Биполярные и полярные СВЧ транзисторы. Полупроводниковые СВЧ диоды: детекторы, смесители, параметрические, множительные, переключательные и ограничительные, туннельные и обращенные диоды, диоды Ганна и лавинно-пролетные диоды.

9. Гибридные и монокристалльные СВЧ интегральные схемы. СВЧ малошумящие усилители, усилители мощности, фазовращатели, фазовые модуляторы, смесители, переключатели, аттенюаторы, микрополосковые СВЧ фильтры, СВЧ фильтры на диэлектрических резонаторах.

10. Функциональные полупроводниковые интегральные схемы ПЗС, инжекционная логика, схемы ИК диапазона.

11. Специфические особенности и классификация аналоговых микросхем.

12. Основные элементы аналоговых микросхем. Источники тока. Источники напряжения. Дифференциальный каскад. Схемы сдвига уровня. Схемы на составных транзисторах. Каскадные схемы. Входные каскады. Выходные каскады.

13. Дифференциальные и операционные усилители (ОУ). Структура ОУ. Основные параметры и характеристики ОУ. Обратные связи и устойчивость ОУ. Цепи частотной компенсации.

14. ОУ как многофункциональные микросхемные элементы. Инвертирующий и неинвертирующий усилители. Логарифмирующий усилитель. Интегратор. Дифференциатор. Логарифмический множитель.

15. Частотно-избирательные микросхемные элементы. Гибридные частотно-избирательные микросхемные элементы. Линейные активные фильтры. Гиратор как эквивалент индуктивности. Транзисторные эквиваленты индуктивности. Схемы фазовой автоподстройки и их реализации в виде микросхем.

16. Микросхемные аналоги аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей (АЦП и ЦАП).

17. Специализированные аналоговые микросхемные элементы. Компараторы. Стабилизаторы. Усилители мощности. Аналоговые множители. Балансовые модуляторы, и их применение.

18. Специфические особенности и классификация цифровых интегральных микросхем.

19. Электронные ключи как основные элементы цифровых микросхем. Диодные ключи. Простейшие ключи на транзисторах.

20. Основные законы алгебры логики. Способы представления логических функций. Методы минимизации логических функций. Выполнение арифметических операций, функционально-полные системы логических элементов.

21. Номенклатура цифровых микросхем. Основные параметры и характеристики цифровых микросхем.

22. Основные типы логических элементов на биполярных транзисторах.

Транзисторные логические элементы с резистивной и резистивно-емкостной связью (РТЛ и РЕТЛ). Дiodно-транзисторные логические элементы (ДТЛ).

23. Транзисторно-транзисторные логические элементы (ТТЛ), эмиттерно-связанные логические элементы (ЭСЛ). Логические элементы с инъекционным питанием (И2Л). Сравнительная оценка логических элементов на биполярных транзисторах.

24. Основные типы логических элементов на МДП-транзисторах с одинаковыми и дополняющими типами проводимости.

25. Интегральные триггеры, принципы построения и основные характеристики. Классификация и структура триггеров.

26. Комбинационные цифровые микросхемы. Дешифраторы. Преобразователи кодов. Сумматоры.

27. Последовательностные цифровые интегральные микросхемы. Регистры. Счетчики.

28. Запоминающие устройства (ЗУ). Классификация ЗУ и их основные параметры. Основные функциональные элементы ЗУ: накопители, схемы выборки, формирователи сигналов. Оперативные ЗУ: на биполярных и МДП-транзисторах. Статические и статично-динамические ЗУ, их организация и структуры. Основные типы запоминающих элементов (ЗЭ).

29. Динамические ЗУ, их организация и структура. Основные типы динамических ЗУ. Постоянные ЗУ (ПЗУ). Программируемые ПЗУ (ППЗУ). Программируемые логические матрицы. Большие цифровые интегральные схемы (БИС) на основе цилиндрических магнитных доменов.

30. Современные направления развития цифровых БИС.

31. Оптоэлектроника, цели, задачи и место в микроэлектронной технике. Элементы оптоэлектроники. Элементарные оптоэлектронные схемы.

32. Приемники излучения. Основные свойства. Пленочные приемники излучения.

33. Источники света. Основные свойства. Пленочные источники света.

34. Системы отображения информации. Классификация по физическим принципам работы, основные требования, предъявляемые к таким системам.

35. Акустоэлектроника. Цели и задачи. Пассивные и активные элементы акустоэлектроники. Пьезоэлектрические резонаторы. Эквивалентная схема. Температурный коэффициент частоты. Захват энергии в пьезоэлектрических резонаторах. Интегральные монолитные фильтры.

36. Приборы на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Возбуждение поверхностных волн. Полосковые фильтры и резонаторы на ПАВ.

37. Акустоэлектронный усилитель. Воздействие ультразвука с потоком носителей, усиление ультразвука. Возбуждение гиперзвуковых волн в твердых телах. Потери преобразования. Акустооптическое устройство. Дифракция света на ультразвуке.

38. Крiоэлектроника, цели, задачи и место в микроэлектронике, Пленочный криотрон, криоэлектронные интегральные схемы на основе эффекта Джозефсона и явлений в охлажденных полупроводниках.

39. Крiоэлектронные приемники излучений СВЧ и ИК диапазонов.

40. Охлаждаемые параметрические усилители, смесители и детекторы. Сверхпроводящие резонаторы и фильтры. Криоэлектронные запоминающие устройства.

41. Методы охлаждения микроэлектронных устройств.

II. Требования к уровню подготовки поступающего

Поступающий должен знать / понимать:

- современное состояние исследований в области физики, схемотехники, технологии, моделирования, измерения характеристик, испытаний современных приборов твердотельной электроники, радиоэлектронных компонентов, изделий микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах, включая оптоэлектронные приборы и преобразователи физических величин (сенсоры);

- общие сведения об интегральных схемах (ИС), классификацию ИС по их функциональным признакам, технологии изготовления; общие проблемы, этапы проектирования и технологические методы изготовления ИС;

- физические принципы работы новых и традиционных приборов твердотельной электроники, радиоэлектронных компонентов, изделий микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах.

- вопросы качества, долговечности, надежности и стойкости к внешним воздействующим факторам, а также вопросы эффективного применения приборов твердотельной электроники, радиоэлектронных компонентов, изделий микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах.

Поступающий должен уметь:

- владеть современными методами расчета и проектирования нано- и микроэлектронных приборов и устройств твердотельной электроники;

- применять современные технологические процессы и технологическое оборудование на этапах разработки и производства нано- и микроэлектронных приборов и устройств твердотельной электроники;

- идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере физики, проектирования, технологии изготовления и применения нано- и микроэлектронных приборов и устройств;

- разрабатывать модели исследуемых процессов, материалов, элементов, приборов, устройств твердотельной электроники и микроэлектронной техники.

- разрабатывать комбинационные и последовательностные устройства в базе цифровых ИС с использованием ручных и машинных методов минимизации;

- строить технологические маршруты изготовления ИС;

- разрабатывать функциональные модели цифровых устройств с использованием высокоуровневых языков описания аппаратных средств Veri-

log/VHDL;

-разрабатывать топологию ИС с использованием различных конструктивно-технологических проектных норм;

- использовать САПР для логического, схемотехнического и топологического проектирования цифровых интегральных схем.

III. Примерный вариант задания

Поступающий получает 3 (три) вопроса, на которые он должен максимально расширенно письменно ответить. Вопросы выбираются по одному из каждого блока. Примерный вариант задания:

Вопрос № 1. Неравновесные носители в полупроводнике. Уравнение непрерывности. Время жизни. Механизмы рекомбинации. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда. Поверхностная рекомбинация.

Вопрос № 2. Заключительные операции планарной технологии. Разделение пластин на кристаллы, монтаж кристаллов в корпус. Измерение параметров. Методы испытаний.

Вопрос № 3. Комбинационные цифровые микросхемы. Дешифраторы. Преобразователи кодов. Сумматоры.

IV. Критерии оценивания работ поступающих

Критерии оценивания работ поступающих: полнота раскрытия вопросов экзаменационного билета; логичность и последовательность изложения материала; аргументированность ответа; способность анализировать и сравнивать различные подходы к решению поставленной проблемы; готовность отвечать на дополнительные вопросы по существу экзаменационного билета. Результаты вступительного экзамена оцениваются как «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно» и объявляются в день экзамена.

Оценка, баллы	Критерии оценивания
Отлично	Даны исчерпывающие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией.
Хорошо	Даны полные, достаточно глубокие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией.
Удовлетворительно	Даны в основном правильные ответы на вопросы, поставленные экзаменационной комиссией; ответы на вопросы даются в основном полно при слабой логической оформленности высказывания.
Неудовлетворительно	Не выполнены условия, позволяющие выставить оценку «удовлетворительно»; претендент демонстрирует непонимание вопроса; у претендента нет ответа на вопрос.

У. Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Байков Ю.А. Физика конденсированного состояния: учеб. пособие / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. – 4-е изд. – М.: Лаборатория знаний, 2020. – 296 с.
2. Борисенко В.Е. Нанозлектроника: теория и практика: учебник / В.Е. Борисенко, А.И. Воробьева, А. Л. Данилюк, Е. А. Уткина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 366 с.
3. Введение в нанотехнологию: учеб. пособие / В.И. Марголин, В.А. Жабреев, Г.Н. Лукьянов и др. – СПб.: Лань, 2013. – 457 с.
4. Ефимов И.Е. Основы микроэлектроники: учебник / И.Е. Ефимов, И.Я. Козырь. – 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2008. – 384 с.
5. Зебрев Г.И. Физические основы кремниевой нанозлектроники: учеб. пособие. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2017. – 240 с.
6. Игнатов А.Н. Микросхемотехника и нанозлектроника: учеб. пособие / А.Н. Игнатов. – СПб.: Лань, 2011. – 528 с.
7. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника: учеб. пособие / А.Н. Игнатов. – СПб.: Лань, 2020. – 544 с.
8. Киселев Г.Л. Квантовая и оптическая электроника / Г.Л. Киселев. – СПб.: Лань, 2020. – 317 с.
9. Коледов Л.А. Технологии и конструкции микросхем, микропроцессов и микросборок: учеб. пособие / Л.А. Коледов. – 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2009. – 400 с.
10. Миловзоров О.В. Электроника: учебник для бакалавров / О.В. Миловзоров, И.Г. Панков. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2013. – 407 с.
11. Нано-КМОП схемы и проектирование на физическом уровне / Б.П. Вонг и др.; пер. с англ. К.В. Юдинцева; под ред. Н.А. Шелепина. – М.: Техносфера, 2014. – 432 с.
12. Новожилов О.П. Электроника и схемотехника: учебник для академического бакалавриата: в 2 т. Т. 1 / О.П. Новожилов. – М.: Юрайт, 2015. – 382 с.
13. Новожилов О.П. Электроника и схемотехника: учебник для академического бакалавриата: в 2 т. Т. 2 / О.П. Новожилов. – М.: Юрайт, 2015. – 420 с.
14. Пасынков В.В. Полупроводниковые приборы: учеб. пособие / В.В. Пасынков, Л.К. Чиркин. – 9-е изд., стер. – М.: Лань, 2009. – 480 с.
15. Попов В.Д. Физические основы проектирования кремниевых цифровых интегральных схем в монолитном и гибридном исполнении: учеб. пособие / В.Д. Попов, Г.Ф. Белова. – СПб.: Лань, 2013. – 208 с.
16. Прянишников В.А. Электроника: полный курс лекций: учебник / В.А. Прянишников. – СПб.: Корона. Век, 2015. – 415 с.
17. Соколов С.В. Электроника: учеб. пособие для вузов / С.В. Соколов, Е.В. Титов; под ред. С.В. Соколова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013 – 204 с.

18. Смирнов Ю.А. Основы нано- и функциональной электроники: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2013. – 320 с.
19. Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологии: учеб. пособие / В.В. Старостин; под общ. ред. Л.Н. Патрикеева. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. – 431 с.
20. Тарасов И.Е. Разработка систем цифровой обработки сигналов на базе ПЛИС / И.Е. Тарасов, И.Е. Потехин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 248 с.
21. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 1: Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование / под общ. ред. Ю.А. Чаплыгина. – 3-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 397 с.
22. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 2: Элементы и маршруты изготовления кремниевых ИС и методы их математического моделирования / под общ. ред. Ю.А. Чаплыгина. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 422 с.
23. Топильский В.Б. Схемотехника аналого-цифровых преобразователей: учеб. пособие / Топильский В. Б. – Москва : Техносфера, 2014. – 288 с.
24. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника: учеб. пособие / Е.П. Угрюмов. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 528 с.
25. Шалимова К.В. Физика полупроводников: учебник для вузов / К.В. Шалимова. – 4-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2014. – 400 с.
26. Шишкин Г.Г. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства : учеб. пособие / Г.Г. Шишкин. – М. : БИНОМ, 2012. – 408 с.
27. Щука А.А. Нанoeлектроника: учеб. пособие / А.А. Щука; под ред. А.С. Сигова. – 4-е изд. – Москва : БИНОМ. Лаб. знаний, 2019. – 342 с.

Дополнительная литература

1. Амосов В.В. Схемотехника и средства проектирования цифровых устройств: учеб. пособие / В.В. Амосов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 542 с.
2. Астайкин А.И. Основы оптоэлектроники: учеб. пособие / А.И. Астайкин, М.К. Смирнов. – М.: Высш. шк., 2007. – 277 с.
3. Галперин В.А. Процессы плазменного травления в микро- и нанотехнологиях: учеб. пособие / под ред. С.П. Тимошенкова. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 283 с.
4. Гуртов В.А. Физика твердого тела для инженеров: учеб. пособие / В.А. Гуртов, Р.Н. Осауленко; под ред. Л.А. Алешина. – М.: Техносфера, 2012. – 560 с.
5. Грундман М. Основы физики полупроводников. Нанofизика и технические приложения / М. Грундман; пер. с англ. под ред. В.А. Гергеля. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2012. – 771 с.

6. Грушвицкий Р.И. Проектирование систем на микросхемах с программируемой структурой: учеб. пособие / Р.И. Грушвицкий, А.Х. Мурсаев, Е.П. Угрюмов. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006 – 736 с.
7. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев. – 2-е изд., испр. – М. : Физматлит, 2009. – 416 с.
8. Епифанов Г.И. Физика твердого тела: учеб. пособие / Г.И. Епифанов. – 3-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2010. – 288 с.
9. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси ; пер. с яп. А. В. Хачояна, под ред. Л.Н. Патрикеева. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007. – 134 с.
10. Красников Г.Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов. – 2-е изд., испр. – М.: Техносфера, 2011. – 800 с.
11. Крекрафт Д. Аналоговая электроника. Схемы, системы, обработка сигнала. / Д. Крекрафт, С. Джерджли. – М.: Техносфера, 2005. – 360 с.
12. Лаврентьев Б.Ф. Схемотехника электронных средств: учеб. пособие для вузов / Б.Ф. Лаврентьев. – М.: Академия, 2010. – 336 с.
13. Лозовский В.Н. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность: учеб. пособие / В.Н. Лозовский, Г.С. Константинова, С.В. Лозовский. – СПб.: Лань, 2008. – 336 с.
14. Мартюшев Ю.Ю. Практика функционального цифрового моделирования в радиотехнике: учеб. пособие / Ю.Ю. Мартюшев. – М.: Горячая линия-Телеком, 2014. – 186 с.
15. Матухин В.Л. Физика твердого тела: учеб. пособие / В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков. – СПб.: Лань, 2010 – 224 с.
16. Мошников В.А. Золь-гель технология микро- и нанокомпозитов: учеб. пособие / В.А. Мошников, Ю.М. Таиров; под ред. Шиловой. – СПб. : Лань, 2013. – 304 с.
17. Наундорф У. Аналоговая электроника. Основы, расчет, моделирование / У. Наундорф. - М.: Техносфера, 2008. - 472 с.
18. Новиков Ю.В. Введение в цифровую схемотехнику: учеб. пособие / Ю.В. Новиков. – М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 343 с.
19. Новожилов О.П. Основы цифровой техники: учеб. пособие / В.П. Новожилов. – М.: Радио Софт, 2004. – 528 с.
20. Павлов П.В. Физика твердого тела: учеб. пособие / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. – 3-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2000. – 494 с.
21. Пихтин А.Н. Квантовая и оптическая электроника: учебник для вузов / А.Н. Пихтин. – М.: Абрис, 2012. – 656 с.
22. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов / под ред. У. Кестера; пер. с англ. под ред. А.А. Власенко. – М.: Техносфера, 2011. – 328 с.
23. Пул-мл. Ч. Нанотехнологии / Ч. Пул-мл., Ф. Оуэнс. – 5-е изд. испр., доп. – М.: Техносфера, 2010. – 336 с.

24. Соловьев В.В. Проектирование цифровых систем на основе ПЛИС / В.В. Соловьев. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007 – 636 с.

25. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники: учебник для академического бакалавриата / В.И. Старосельский. – М.: Юрайт, 2009. – 463 с.

26. Хоровиц П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл; пер. с англ. Б.Н. Бронина и др. – 7-е. изд. – М.: БИНОМ, 2014. – 704 с.

27. Щука А.А. Электроника: учеб. пособие / А.А. Щука; под ред. А.С. Сигова. – СПб: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.