

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Новосибирский
государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Начальник ОПКВК

 В.П. Драгунов

 2022 г.



ПРОГРАММА - МИНИМУМ

кандидатского экзамена по специальности

**2.2.2 - «Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники,
квантовых устройств»
(технические науки)**

Новосибирск 2022

Программа обсуждена на заседании ученого совета факультета РЭФ
протокол № 11 от 21.12.2022 г.

Программу разработал

заведующий кафедрой ППиМЭ,

к.т.н., доцент



Д.И. Остертак

Декан РЭФ, к.т.н.,

доцент



С.А. Стрельцов

Ответственный за основную
образовательную программу

д.т.н., профессор



А. А. Величко

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: физика полупроводников и полупроводниковых приборов; технология полупроводниковых приборов и интегральных схем; микросхемотехника; контроль качества и надежность полупроводниковых приборов; радиокомпоненты, а также обзорно-обобщающие работы по новым достижениям в области оптоэлектроники, акустоэлектроники, наноэлектроники и приборов на квантовых эффектах.

Программа разработана экспертным советом по электронике, измерительной технике, радиотехнике и связи Высшей аттестационной комиссии Минобразования России при участии СТИ РАН, МИЭМ, МИРЭА, МИЭТ, МЭИ (ТУ) и ГУП «Пульсар».

1 Физика полупроводников и полупроводниковых приборов

1.1. Общие свойства полупроводников. Природа химической связи. Структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты в кристаллах. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: Si, GaAs и др.. Поликристаллические и аморфные полупроводники.

1.2. Зонная теория твердого тела. Энергетические спектры электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках. Зона проводимости и валентная зона. Электроны и дырки. Эффективная масса электрона. Экситоны. Собственные и примесные полупроводники. Донорные и акцепторные примеси.

1.3. Основы статистической физики. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов и дырок в зонах и их температурные зависимости. Распределение Максвелла-Больцмана. Критерий вырождения электронного газа. Вырожденные и невырожденные полупроводники.

1.4. Рекомбинация носителей заряда. Рекомбинация «зона-зона» и рекомбинация через примеси и дефекты. Теория рекомбинации Шокли-Рида. Диффузионная длина и время жизни носителей. Поверхностная рекомбинация.

1.5. Электропроводность полупроводников. Носители заряда в слабом электрическом поле. Взаимодействие с фононами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок. Условие электронейтральности. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Носители заряда в сильном электрическом поле. Горячие электроны. Лавинное умножение в полупроводниках. Электрические домены и токовые шнуры. Эффект Ганна.

Уравнение для плотности электрического тока в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона.

1.6. Электронно-дырочный (р-п) переход. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика р-п перехода. Токи носителей заряда в р-п переходе, квазиуровни Ферми. Генерация и рекомбинация носителей в р-п переходе. Барьерная и диффузионная емкость. Частотные и импульсные свойства. Пробой р-п перехода: тепловой, лавинный, туннельный.

1.7. Транзисторный эффект. Зонная диаграмма полупроводниковой структуры с двумя близко расположенными р-п переходами. Коэффициент инжекции. Коэффициент переноса носителей через базу. Коэффициент усиления транзистора.

1.8. Контакт металл-полупроводник. Теория Шоттки. Вольт-амперная характеристика. Омический контакт. Сопоставление с р-п переходом.

1.9. Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Зонная диаграмма и ее изменение при приложении напряжения. Роль поверхностных состояний, подвижных и неподвижных зарядов в диэлектрике.

1.10. Гетероструктуры. Зонная диаграмма гетеро- р-п- перехода. Коэффициент инжекции. Суперинжекция. Одинарные и двойные гетероструктуры. Варизонные структуры.

1.11. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение излучения: собственное и примесное, экситонное и на свободных носителях. Закон Бугера. Красная граница поглощения. Фотопроводимость. Спектральная характеристика. Фотовольтаический эффект в р-п переходе. Эффекты, вызываемые поглощением высокоэнергетического ядерного излучения в полупроводниках.

1.12. Излучение полупроводников. Прямые и непрямые переходы носителей заряда. Виды люминесценции: инжекционная, катодо-, фотолюминесценция. Спектры излучения. Правило Стокса, антистоксова люминесценция. Квантовый выход. Вывод излучения из полупроводников.

1.13. Лазерный эффект в полупроводниках. Индуцированное (стимулированное) излучение. Оптический резонатор, усиление и генерация света. Пороговый ток.

1.14. Термоэлектрические явления. Термо- и гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла. Электро-, магнито-, акустооптические эффекты. Поверхностные акустические волны. Акустоэлектронные волны.

2. Приборы твердотельной электроники и микроэлектроники

2.1. Полупроводниковые диоды. Устройство и основные параметры. Выпрямительные и импульсные диоды. Варикапы. Стабилитроны и защитные диоды. Туннельные диоды. Диоды СВЧ: детекторные и смесительные, диоды Шоттки, pin – диоды, умножительные и параметрические, лавинно-пролетные, диоды Ганна. Полупроводниковые датчики ядерных излучений.

2.2. Полупроводниковые транзисторы

2.2.1. Биполярные транзисторы. Принцип действия, основные параметры, их зависимость от температуры. Частотные и импульсные

характеристики. Диффузионно-дрейфовые транзисторы. Мощные транзисторы, в том числе СВЧ. Транзисторы с изолированным затвором (IGBT).

2.2.2. Тиристоры и их разновидности. Основные параметры.

2.2.3. Полевые транзисторы, принцип действия, основные параметры. Полевые транзисторы с р-п переходом, с барьером Шоттки. МДП-транзисторы с индуцированным и встроенным каналами р- и п- типов.

2.2.4. Шумы в транзисторах.

2.3. Полупроводниковые интегральные схемы. Транзисторы, диоды и другие элементы в интегральном исполнении. Межэлементная изоляция. ИС, БИС, СБИС. Классификация микросхем по конструктивно-технологическому принципу: МОП- и КМОП-ИС, биполярные (ТТЛ-, ЭСЛ-, И²Л- ИС): Би-КМОП; «кремний-на-изоляторе» («кремний-на-сапфире»)-ИС, GaAs-ИС на полевых транзисторах с барьером Шоттки (ПТШ)

Многослойные (объемные) ИС. Интеграция на пластине. Микросистемы (общее представление).

2.4. Микросхемотехника. Цифровые и аналоговые ИС. Базовые логические элементы: ТТЛ, ЭСЛ, МОП, КМОП, ПТШ. Микропроцессоры. Полупроводниковые ЗУ. Программируемые логические матрицы. Базовые матричные кристаллы. ЦАП – АЦП. Сигнальные микропроцессоры. ВПП и стабилизаторы напряжения. Операционные усилители. Специфика интегральных СВЧ-устройств.

2.5. Оптоэлектроника.

2.5.1. Фотоприемники: фото- резисторы, -диоды, -транзисторы, -матрицы. Основные параметры и характеристики. Фотоприемники ИК-диапазона, тепловизоры. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. Солнечные батареи: на монокристаллическом и аморфном кремнии, на поликристаллических пленках, с гетероструктурами.

2.5.2. Полупроводниковые лазеры (общее представление).

2.5.3. Светодиоды, параметры и характеристики. Суперяркие светодиоды. ИК-излучатели. Светодиодные дисплеи. Полимерные светодиоды (общее представление).

2.5.4. Оптроны и оптоэлектронные ИС.

2.5.5. Оптические дисковые и голографические ЗУ. Волоконнооптические линии связи. Элементы оптической вычислительной техники. Интегральная оптика.

2.6. Акустоэлектроника и акустооптика. Физические основы взаимодействия акустической волны с электронами твердого тела и взаимодействия оптических и акустических волн в твердых телах и жидкостях. Основные материалы акустоэлектроники и акустооптики и устройства на их основе для обработки аналоговых сигналов.

2.7. Магнитоэлектроника, криоэлектроника, твердотельные датчики (общее представление).

2.8. Краткий очерк истории твердотельных приборов и микроэлектроники. Даты важнейших открытий и изобретений. Ученые, внесшие вклад в развитие твердотельной микроэлектроники и примыкающих к ней областей.

3. Технология микроэлектроники и твердотельных приборов

3.1. Планарная технология – общая схема техпроцесса. Групповая обработка. Минимальный топологический размер (МТР) - основной показатель уровня технологии. Степень интеграции ИС. Динамика МТР и степени интеграции, закон Мура. Перспективы развития планарной технологии. Гибридная технология. Микросборки и БИС на подложках.

3.2. Изготовление полупроводниковых пластин. Определение кристаллографической ориентации монокристаллов полупроводников. Ориентированная резка, шлифовка, полировка пластин.

Химическое травление и химическая полировка кремния и арсенида галлия. Химико-механическая полировка. Финишная очистка пластин. Методы контроля качества очистки.

3.3. Эпитаксия. Методы эпитаксиального выращивания кремния. Методы контроля качества эпитаксиальных слоев. Распределение примесей в эпитаксиальных слоях. Дефекты эпитаксиальных пленок. Получение эпитаксиальных гетеропереходов. Выращивание эпитаксиальных пленок A^3B^5 . Оборудование для эпитаксиального выращивания пленок. Сравнение газотранспортной, жидкофазной, МОС-гидридной и молекулярной эпитаксии.

3.4. Создание диэлектрических покрытий на кремнии. Термодинамика процесса окисления кремния. Физическая модель процесса окисления кремния. Кинетика активного и пассивного окисления полупроводников. Структура окисла на кремнии. Перераспределение примеси при термическом окислении кремния. Формирование диэлектрических пленок методами осаждения из металлоорганических соединений.

Зарядовое состояние системы полупроводник-диэлектрик; факторы, влияющие на величину и знак заряда в системе. Связь параметров полупроводниковых приборов и ИС с зарядовым состоянием системы кремний-окисел.

3.5. Диффузия в полупроводниках. Физические основы процесса диффузии. Основные уравнения. Граничные условия и расчетные формулы для наиболее важных случаев диффузии. Методы проведения диффузионных процессов. Структурные схемы диффузионных печей. Особенности диффузии в соединения A^3B^5 .

3.6. Электронно-ионная технология. Методы получения электронных и ионных пучков. Ионное легирование. Имплантация ионов. Плазмохимические и ионно-плазменные методы обработки полупроводниковых, диэлектрических и металлических слоев. Дефекты, вносимые электронно-ионной обработкой, их устранение. Конструктивные

схемы ионных имплантеров и оборудования для электронно-ионной и ионно-химической обработки.

3.7. Металлизация. Получение тонких пленок термическим испарением в вакууме. Ионно-плазменное распыление. Химическое осаждение из газовой фазы. Оборудование для получения тонких пленок. Материалы тонкопленочной технологии.

3.8. Литография. Фотолитография. Основные типы оборудования для фотолитографии. Проекционная фотолитография, электроннолучевая литография и рентгенолитография. Фотошаблоны и их изготовление. Дефекты микросхем, связанные с фотолитографическими процессами.

3.9. Структуры элементов полупроводниковых ИС. Методы изоляции элементов. Технология структур «кремний на изоляторе». Структура и свойства элементов ИС.

3.10. Сборка полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Корпуса полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Методы герметизации. Бескорпусные приборы. Методы отвода тепла в мощных полупроводниковых приборах.

4. Моделирование, испытания, надежность приборов твердотельной электроники, радиоэлектроники и изделий микро- и нанoeлектроники

4.1. Моделирование как основа проектирования приборов твердотельной, микро- и нано- электроники. Методики построения физических и математических моделей. Двух- и трехмерное моделирование. Примеры моделей транзисторов, элементов микросхем. Системы моделирования и автоматизированного проектирования (общее представление).

4.2. Испытание изделий на устойчивость к воздействию внешних факторов: механических, климатических, радиационных, Виды испытаний: приемосдаточные, периодические, квалификационные. Особенности

поведения полупроводниковых приборов и микросхем при различных видах радиационных и космических воздействий. Методы повышения радиационной стойкости приборов.

4.3. Основные положения, понятия и определения современной теории надежности. Статистические методы оценки и прогнозирования показателей надежности и долговечности. Физика причин отказов полупроводниковых приборов и микросхем. Катастрофические (внезапные) и деградационные (постепенные) отказы. Методы выявления потенциально ненадежных приборов и микросхем. Ускоренные испытания и имитационные методы испытаний.

5. Радиоэлектронные компоненты

5.1. Физические явления, определяющие электропроводность толсто-пленочных резистивных материалов.

5.2. Толсто-пленочные резисторы.

5.3. Основные типы постоянных и переменных резисторов.

5.4. Физические явления, определяющие емкостные свойства конденсаторов.

5.5. Типы, параметры и конструкции конденсаторов постоянной и переменной емкости.

5.6. Физические основы работы линий задержек на поверхностных акустических волнах.

5.7. Полупроводниковые термо- и фототранзисторы, позисторы, варисторы, болометры (общее представление)

6. Физические эффекты в малоразмерных твердотельных структурах, специфические приборы наноэлектроники и методы их изготовления, основные принципы создания приборов на квантовых эффектах

6.1. Размерное квантование в гетероструктурах. Примеры структур с размерно-квантованным энергетическим спектром: квантовые ямы,

квантовые нити и квантовые точки. Сверхрешетки. Туннелирование на одиночном барьере. Двухбарьерная структура. Резонансно-туннельные диод и транзистор. Эффект Джозефсона.

6.2. Транспортные явления в малоразмерных полупроводниковых структурах. Модулированное легирование. Полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов (HEMT). Гетеропереходный биполярный транзистор.

6.3. Квантовый эффект Холла. Энергетический спектр носителей заряда в магнитном поле. Квантование холловского сопротивления двумерного электронного газа в магнитном поле. Дробный квантовый эффект Холла.

6.4. Одноэлектроника. Квантование кулоновской энергии в мезоскопических системах. Явление кулоновской блокады при туннелировании через переходы с малой емкостью. Одноэлектронные транзисторы и схемы на их основе.

6.5. Представления об элементной базе квантовых компьютерах – кубитах. Свойства кубита. Управление эволюцией кубита. Элементарные одно-кубитовые и двух-кубитовые операции как основа квантовых вычислений. Представление о принципах квантовой связи на одиночных фотонах.

Рекомендуемая основная литература

1. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. –М., Наука, 1977.
2. Шалимова К.В. Физика полупроводников. –М., Энергия, 1976.
3. Епифанов Г.И., Мома Ю.А. Твердотельная электроника. –М., Высшая школа, 1986.
4. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов в 2-х книгах. –М., Мир, 1984.

5. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника. Под ред. Федорова Н.Д. –М., Радио и связь, 1998.
6. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. –М., Радио и связь, 1990.
7. Блихер А. Физика силовых биполярных и полевых транзисторов.. Ленинград, Энергоатомиздат, 1986.
8. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. –М., Радио и связь, 1998.
9. Тилл У., Лаксон Дж. Интегральные схемы, материалы, приборы и их изготовление. –М, Мир, 1985.
10. Емельянов В.А. Быстродействующие цифровые КМОП БИС. – Минск, Полифакт, 1998.
11. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника. –М., Радио и связь, 1989.
12. Фотоприемники видимого и ИК диапазонов. Под ред. Стафеева В.И. –М., Радио и связь, 1985.
13. Носов Ю.Р., Шилин В.А. Основы физики приборов с зарядовой связью. –М., Наука, 1986
14. Трищенко М.А. Фотоприемные устройства и ПЗС. –М., Радио и связь, 1992.
15. Технология СБИС в 2-х книгах. Под ред. С. Зи. –М., Мир, 1986.
16. Березин А.С., Мочалкина О.Р. Технология и конструирование интегральных микросхем. –М., Радио и связь, 1983.
17. Черняев В.Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров. –М., Радио и связь, 1987.
18. Коледов Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок. –М., Радио и связь, 1989.
19. Валиев К.А. Физические основы субмикронной фотолитографии. –М., Наука, 1990.
20. Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии. – М., Мир, 1985.

21. Моделирование полупроводниковых приборов и технологических процессов. Под ред. Д. Миллера. –М., Радио и связь, 1989.
22. Бубенников А.Н. Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем. –М.,Высшая школа, 1989.
23. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы. –М., Мир, 1988.
24. Козырь И.Я. Качество и надежность интегральных микросхем. – М., Высшая школа, 1987.
25. Домрачев В.Г., Мальцев П.П., Новаченко И.В., Пономарев С.Н. Базовые матричные кристаллы и матричные БИС. – Энергоатомиздат, 1992.
26. Алексенко А.Г., Шагурин И.И. Микросхемотехника. –М., Радио и связь, 1987.
27. Рычина Т.А., Зеленский А.В. Устройства функциональной электроники и электрорадиоэлементы. –М., Радио и связь, 1989, 352с.
28. Валиев К.А., Кокин А.А. Квантовые компьютеры: надежды и реальность. -М.,РХД, 2001.
29. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Основы наноэлектроники. –Новосибирск, НГТУ, 2000.
30. Арсенид галлия в микроэлектронике. Под ред. В.Н. Мордковича. –М., Мир, 1988.
31. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. – СПб, «Лань», 2002
32. Пичугин И.Г., Таиров Ю.М. Технология полупроводниковых приборов – М., Высшая школа, 1984

Дополнительная программа кандидатского минимума по специальности 2.2.2. - Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств (технические науки)

1. Интегральная электроника

- 1.1. Этапы разработки ИС и их краткая характеристика.

- 1.2. МОП ИС. Правила Мида-Конвей.
- 1.3. Комплиментарные МОП ИС.
- 1.4. Быстродействие МОП схем.
- 1.5. Топология и формирование структуры биполярного транзистора.
- 1.6. Симметричная и ассиметричная конструкция биполярного интегрального транзистора.
- 1.7. Конструирование и выбор структура интегральных резисторов. Диффузионные резисторы.
- 1.8. Эпитаксиальные резисторы. Пинч-резисторы. Ионно-легированные резисторы. Тонкопленочные резисторы.
- 1.9. Конструирование и выбор структуры интегральных конденсаторов. Диффузионные, МДП и МДМ-конденсаторы.
- 1.10. Изоляция элементов ИС. Диодная, диэлектрическая и комбинированная изоляция.
- 1.11. Диоды и транзисторы Шоттки в ИС.

2. Нанозлектроника

- 2.1. Предпосылки возникновения нанозлектроники.
- 2.2. Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке.
- 2.3. Потенциальный барьер конечной ширины.
Подбарьерное туннелирование.
- 2.4. Особенности прохождения частиц над потенциальной ямой.
- 2.5. Особенности распределения плотности состояний в 2D-системах.
- 2.6. Прохождение частиц через многобарьерные квантовые структуры.
- 2.7. Полупроводниковые сверхрешетки (СР). Энергетический спектр.
- 2.8. Классификация гетеропереходов и СР.
- 2.9. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр бесконечной прямоугольной потенциальной ямы.
- 2.10. Проводимость квантовых проволок.
- 2.11. Эффект Аронова-Бома.
- 2.12. Одноэлектронное туннелирование. Кулоновская блокада.

3. Компоненты микросистемной техники

- 3.1. Тензорезистивный эффект в металлах.
Металлические тензорезисторы, конструкция, характеристики.
- 3.2. Влияние деформации на энергетический спектр p-кремния.
Тензор потенциалов деформации.
- 3.3. Влияние деформации на электропроводность в p-Si.
- 3.4. Особенности деформационной характеристики кремния p-типа.

- 3.5. Влияние деформации на электропроводность кремния р-типа.
- 3.6. Феноменологическое описание тензорезистивного эффекта в кремнии.
- 3.7. Сенсор давления на сдвиговом тензорезистивном эффекте.
- 3.8. Структура и основное уравнение для сенсора линейного ускорения.
- 3.9. Конструкция акселерометра на тензорезистивном эффекте.
- 3.10. Математическое описание пьезоэлектрического эффекта.
- 3.11. Теория холловского сенсора.
- 3.12. Магнитотранзисторы.
- 3.13. Магниторезистивный эффект.
- 3.14. Устройства для измерения ядерных излучений.

Основная литература

Герасименко Н. Н. Кремний - материал нанoeлектроники / Н. Герасименко, Ю. Пархоменко.-М.: Техносфера, 2007.- 351 с.

Головин Ю. И. Введение в нанотехнику / Ю. И. Головин.-М.: Машиностроение, 2007.- 493 с.

Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев.-М.: Физматлит, 2007.- 414 с.

Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т.-Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008.- 354, [1] с.

Кормилицын О. П. Механика материалов и структур нано- и микротехники / О. П. Кормилицын, Ю. А. Шукейло.-М.: Академия, 2008.- 215, [1] с.

Лозовский В. Н. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность : [учебное пособие для вузов] / В. Н. Лозовский, Г. С. Константинова, С. В. Лозовский.-СПб. [и др.]: Лань, 2008.- 327 с.

Научные основы нанотехнологий и новые приборы : учебник-монография / [Брайдсон, Рик и др.] ; под ред. Р. Келсалла, А. Хамли, М. Геогегана ; пер. с англ. А. Д. Калашникова.-Долгопрудный: Интеллект, 2011.- 527 с.

Рамбиди Н. Г. Нанотехнологии и молекулярные компьютеры / Н. Г. Рамбиди.- М.: Физматлит, 2007.- 255 с.

Спиридонов О. П. Физические основы твердотельной электроники : [учебное пособие для вузов по техническим направлениям подготовки и специальностям] / О. П. Спиридонов.-М.: Высшая школа, 2008.- 190, [1] с.

Щука А. А. Нанoeлектроника / А. А. Щука ; под общ. ред. Ю. В. Гуляева.-М.: Физматкнига, 2007.- 463 с.

Щука А. А. Нанoeлектроника : [учебное пособие для вузов по направлению ""Прикладные математика и физика""] / А. А. Щука ; под общ. ред. Ю. В. Гуляева.-М.: Физматкнига, 2007.- 463 с.

Список дополнительной литературы

1. Теоретические модели и методы в физике поверхности : учебное пособие для вузов / А. Н. Вакилов [и др.] ; Омский гос. ун-т им. Ф. М. Достоевского.-Омск: Изд-во ОмГУ, 2005.- 211, [1] с.
2. Пул Ч. Ч. Нанотехнологии : учебное пособие по направлению подготовки ""Нанотехнологии"" / Ч. Пул-мл., Ф. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина ; доп. В. В. Лучинина.-М.: Техносфера, 2006.- 334 с.
3. Процессы микро- и нанотехнологии : учебное пособие для вузов по специальностям 200100 ""Микроэлектроника и твердотельная электроника"" и 202100 ""Нанотехнология в электрике"" / Т. И. Данилина и др. ; Томский гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники.- Томск: Изд-во Томского гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2005.-314, 1] с.
4. Пасынков В. В. Полупроводниковые приборы : учебник для вузов / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин.-СПб.: Лань, 2002.- 479 с.
5. Неволин В. К. Зондовые нанотехнологии в электронике / В. Неволин.- М.: Техносфера, 2006.- 159 с.
6. Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника. Мировые достижения за 2005 год : сборник / под ред. П. П. Мальцева.-М.: Техносфера, 2006.- 149, [2] с.
7. Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника. Мировые достижения за 2005 год : сборник / под ред. П. П. Мальцева.-М.: Техносфера, 2006.- 149, [2] с.
8. Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам : сборник статей / под. ред. П. П. Мальцева.-М.: Техносфера, 2005.- 589 с.

9. Кучумов А. И. Электроника и схемотехника / А. И. Кучумов.-М.: Гелиос АРВ, 2005.- 335 с.
- 10.Красников Г. Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов. В 2 ч.. Ч. 2 / Г. Я. Красников.-М.: Техносфера, 2004.- 535 с.
- 11.Илюшин В. А. Процессы нанотехнологии : учебное пособие / В. А. Илюшин, А. А. Величко ; Новосиб. гос. техн. ун-т.-Новосибирск: НГТУ, 2004.- 107 с.
- 12.Игнатов А. Н. Основы электроники / А. Н. Игнатов [и др.] ; Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики [и др.].-Новосибирск: СибГУТИ, 2005.- 323 с.
- 13.Драгунов В. П. Основы нанoeлектроники : учебное пособие для вузов по специальности 200100 ""Микроэлектроника и твердотельная электроника"" и 201900 ""Микросистемная техника"" / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин ; Новосиб. гос. техн. ун-т.-Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004.- 494 с.
- 14.Драгунов В. П. Основы нанoeлектроники : учебное пособие для вузов по направлению ""Электроника и микроэлектроника"", специальностям ""Микроэлектроника и твердотельная электроника"" и ""Микросистемная техника"" / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин.-М.: Физматкнига: Логос, 2006.- 494 с.
- 15.Гуртов В. А. Твердотельная электроника : учебное пособие / В. Гуртов.-М.: Техносфера, 2005.- 406, [1] с.
- 16.Быстров Ю. А. Оптоэлектронные приборы и устройства : учебное пособие / Ю. А. Быстров.-М.: РадиоСофт, 2001.- 253 с.
- 17.Алексенко А. Г. Основы микросхемотехники / А. Г. Алексенко.-М.: Бином. Лаборатория знаний, 2004.- 448 с.

Правила аттестации:

Оценка знаний аспиранта осуществляется в виде кандидатского экзамена по билетам. В билеты включаются вопросы из основной и дополнительной частей программы кандидатского экзамена по специальности. По результатам ответа на вопросы по билету и при необходимости на дополнительные вопросы аспирант может получить следующие оценки:

Отлично – на все вопросы в билете даны правильные ответы, полностью раскрывающие суть вопросов, и на дополнительные вопросы, заданные комиссией аспирант ответил правильно и полностью.

Хорошо – на вопросы даны правильные, но не полные ответы. Раскрыта суть рассматриваемого процесса, но не приведены примеры. На дополнительные вопросы, заданные комиссией аспирант ответил правильно и полностью.

Удовлетворительно – только на часть из вопросов дан правильный ответ, но на дополнительные вопросы, заданные комиссией поступающий в аспирантуру ответил правильно и полностью.

Неудовлетворительно – на вопросы по билету аспирант ответил не правильно