

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА

в аспирантуру

по направлению 11.06.01

" Электроника, радиотехника и системы связи " ,

на совокупность программ аспирантуры с направленностями (профилями) 05.27.01

«Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах», 05.27.02 «Вакуумная и плазменная электроника», 05.27.03 «Квантовая электроника», 05.27.06 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники», по которым подготовку выполняет Факультет электроники (далее «Электроника»)

1. Физические и физико-химические основы твердотельной электроники

Классификация твердых тел по типам связей

Основы кристаллографии. Трансляционная и точечная симметрия кристаллов. Решетки Браве. Приближение почти свободных электронов. Метод сильной связи.

Зонная теория. Металлы, полупроводники и диэлектрики. Статистика электронов в твердых телах. Равновесная и неравновесная функции распределения.

Структура реальных кристаллов. Основные типы дефектов кристаллической структуры. Термодинамика дефектов кристаллической решетки. Точечные и протяженные дефекты. Политипизм и полиморфизм.

Классическая теория электропроводности металлов. Зонная структура металлов. Уровень Ферми. Термоэлектрические явления в металлах.

Сверхпроводимость металлов. Основы микроскопической теории сверхпроводимости Бардина-Купера-Шриффера. Куперовские пары. Энергетическая щель.

Зонная структура полупроводников. Дисперсия электронов в направлениях и точках высокой симметрии в зоне Бриллюэна. Приближение эффективной массы

Классическая и квантовая теории колебания решетки. Фононы. Дисперсия фононов. Оптическое поглощение на колебаниях решетки. Оптические переходы с участием примесей. Собственное поглощение полупроводников. Прямые и не прямые оптические переходы. Экситоны в полупроводниках.

Статистическое взаимодействие дефектов в полупроводниках. Функция распределения. Физико-химические процессы легирования. Взаимное влияние примесей на растворимость. Современные методы исследования фаз с отклонениями состава от стехиометрии.

Неравновесные носители заряда в полупроводниках. Квазиуровни Ферми. Диффузия и дрейф. Фотопроводимость полупроводников. Процессы рекомбинации. Механизмы люминесценции.

Электронно-дырочный переход. Энергетическая диаграмма. Прямой и обратный токи. Емкость электронно-дырочного перехода. Пробой p-n перехода. Энергетическая диаграмма гетероперехода.

Диэлектрики. Поляризация диэлектриков. Диэлектрическая восприимчивость и проницаемость. Механизмы поляризации диэлектриков. Пробой твердых диэлектриков.

Сегнетоэлектрики. Доменная структура. Точка Кюри. Диэлектрический гистерезис. Потери в сегнетоэлектриках.

Магнитные материалы. Магнитный момент свободного атома. Диамагнетизм и парамагнетизм. Магнитное упорядочение. Ферромагнетизм. Обменное взаимодействие. Магнитные домены. Точка Кюри. Магнитный гистерезис. Ферромагнетики и их особенности.

Некристаллические материалы твердотельной электроники и микроэлектроники. Модельные представления некристаллических материалов с положительной и отрицательной корреляционными энергиями. Пиннинг уровня Ферми. Эффекты долговременной релаксации. Основные принципы теории стеклообразования. Аморфные полупроводники.

Жидкие кристаллы как мезоморфная фаза. Их классификация по Фриделю. Полимеры. Полимерные цепи. Разветвленные полимеры. Блоксополимеры. Дендроны и дендримеры. Частично кристаллическое, стеклообразное, высокоэластичное и вязкотекучее состояние полимеров.

Перколяционная модель строения полимера. Персистентная длина. Переход клубок – глобула. Эффекты самосборки и иерархической самоорганизация.

2. Термодинамические основы технологических процессов создания и методов совершенствования материалов и приборов

Фазовые равновесия в многокомпонентных системах. Правило фаз и геометрическая термодинамика. Диаграммы состояния и их применение для описания фазовых равновесий в двухкомпонентных системах.

Термодинамические критерии устойчивости фаз в бинарных гетерогенных системах. Функции смешения. Конфигурационная и колебательная энтропия.

Растворы идеальные и реальные. Избыточные термодинамические функции. Параметр взаимодействия. Классификация растворов. Концепция регулярного раствора. Распад пересыщенных твердых растворов. Физико-химическое управление составом и свойствами материалов.

Кинетические и диффузионные явления в технологических процессах. Конвективная диффузия. Массоперенос в проточных системах. Понятие о ламинарном и турбулентном потоках.

Механизм самодиффузии и гетеродиффузии в твердых телах. Законы Фика. Начальные и граничные условия в задачах диффузии. Способы диффузионного легирования полупроводников.

Поверхностные явления в технологических процессах. Адсорбция. Уравнение изотермы адсорбции Ленгмюра. Адгезионные принципы физико-химической совместимости.

Процессы микро- и нанотехнологии. Системная модель технологического процесса: объект, воздействие, процесс. Классификация процессов микро- и нанотехнологии по физико-химической сущности: механический, термический, химический, корпускулярно-полевой; виду процесса: нанесение, удаление, модифицирование; характеру протекания процессов: тотальный, локальный, селективный, избирательный, анизотропный; способу активации: тепло, излучение, поле. Виды термического и корпускулярно-лучевого воздействий: резистивный, лучистый и индукционный нагрев, электронные и лазерные пучки, плазма и ионные пучки. Каталитические свойства поверхности и атомно-силовое воздействие.

Чистые помещения: классификация производственных помещений по чистоте воздушной среды и микроклимату, источники загрязнений, способы обеспечения и поддержания чистоты. Вакуум: глубина вакуума, средства откачки и методы контроля. Технологические среды:

чистота материалов, воды, газовых сред и жидкостей. Аппаратура и элементы газовых и жидкостных систем. Базовые операции очистки жидких и газообразных сред

Оборудование и процессы выращивания кристаллов полупроводников и диэлектриков из жидкой и паровой фаз. Методы Чохральского, Бриджмена-Стокбаргера, Степанова. Зонная плавка. Метод сублимации.

Оборудование и методы нанесения вещества в вакууме из молекулярных пучков: вакуумтермическое и электронно-лучевое испарение, молекулярно-лучевая эпитаксия.

Оборудование и методы ионно-плазменного осаждения: катодное, магнетронное, реактивное распыления; ионно- и плазмохимическое осаждение.

Оборудование и методы осаждения из газовой фазы: получение поликристаллического и аморфного гидрогенизированного кремния, оксида и нитрида кремния; пиролитическое осаждение металлов; газофазная эпитаксия кремния, бинарных и многокомпонентных соединений; газофазные методы молекулярной химической сборки.

Оборудование и методы осаждения из жидкой фазы: жидкофазная эпитаксия, электрохимическое осаждение слоев, нанесение моно- и мультислоев органических веществ методом Ленгмюра-Блоджетт. Золь-гель технология.

Оборудование и методы удаления вещества. Шлифование и полирование. Электрохимическая, ультразвуковая и электроэрозионная обработки. Механическое, лазерное и электроннолучевое скрайбирование. Вакуум-термическое травление.

Процессы химического травления: механизмы травления; оборудование, методы и среды для жидкостного и газового травления; локальное и анизотропное ориентационно-чувствительное травление; маскирующие, «жертвенные» и «стоп»-слои. Электрохимическое травление, получение пористого кремния. Ионно-плазменное травление: оборудование, методы и механизмы травления; ионно-лучевое, плазмохимическое, реактивное ионно-плазменное, ионно-химическое травление.

Процессы и оборудование для окисления и нитрирования. Методы диффузии и ионной имплантации.

Оборудование и процессы фотолитографии. Электронолитография, рентгенолитография, ионнолитография. Атомно-зондовое модифицирование поверхности.

Нетермические методы активации физико-химических процессов: локальность, избирательность, скорость протекания процессов. Активация процессов полем и излучением: электрически стимулированная эпитаксия; фото- и СВЧ-стимулированные процессы осаждения, окисления и травления.

Туннельно-полевое модифицирование поверхности: квантово-механические принципы локального переноса заряда, энергии, массы; технология атомно-молекулярного массопереноса и модифицирования с наноразрешением. «Перьевая» (Dip-pen)) нанолитография. Локальное анодное окисление с использованием многозондовых устройств сканирующей зондовой микроскопии.

Базовые принципы интеграции процессов: аппаратурная и топохимическая интеграция. Самоформирование: интеграция физико-химических процессов на основе топохимической селективности поверхности, структурно-топологические операции на основе анизотропии, маски дифференциального действия, принцип матрицы.

Интегрированные технологические кластерные комплексы: нанофабы, нанотехнологические комплексы на основе туннельно-полевого массопереноса и модифицирования

3. Приборы твердотельной электроники и микроэлектроники

Диоды. Типы и характеристики. Выпрямительные и импульсные диоды. Стабилитроны и защитные диоды. Туннельные диоды. Варикапы. СВЧ диоды. Полупроводниковые датчики ядерных излучений.

Транзисторы: Типы и характеристики.

Биполярные транзисторы. Принцип действия. Частотные и импульсные характеристики. Диффузионно-дрейфовые транзисторы. СВЧ транзисторы. Транзисторы с изолированным затвором.

Тиристоры

Полевые транзисторы. Принцип действия. Основные параметры. Полевые транзисторы с р-n переходом, с барьером Шоттки. Транзисторы с индуцированным и встроенным каналами.

Полупроводниковые интегральные схемы. Классификация микросхем по конструктивно-технологическому принципу (МОП- и КМОП-ИС, биполярные (ТТЛ-ИС, ЭСЛ-ИС. И²Л- ИС). Би-КМОП. «кремний-на-изоляторе» -ИС, GaAs-ИС на полевых транзисторах с барьером Шоттки.

Методы изоляции элементов в полупроводниковых интегральных микросхемах: изоляция электронно-дырочным переходом, диэлектрическая и комбинированная изоляция.

Активные элементы интегральных микросхем. Биполярные полупроводниковые структуры интегральных микросхем. Транзисторные структуры n-p-n, разновидности изопланарных транзисторов. Особенности интегральной транзисторной структуры, паразитный транзистор. Транзисторные структуры p-n-p-типа, вертикальная и горизонтальная структура транзистора. Комплементарные n-p-n и p-n-p транзисторы. Многоэмиттерные и многоколлекторные транзисторные структуры. Транзисторные структуры для схем с инжекционным питанием.

Интегральные диоды с выпрямлением на p-n-переходе. Диодное использование интегрального транзистора. Диоды интегральных микросхем с выпрямлением на контакте металл-полупроводник (диоды Шоттки). Транзисторные структуры с диодами Шоттки.

Структуры полевых транзисторов для интегральных микросхем: транзисторы с управляющим электронно-дырочным переходом и МДП-транзисторы. Самоизоляция МДП - транзисторных структур. Комплементарные МДП-структуры, эффект защелкивания (тиристорный эффект). Разновидности МДП-транзисторов интегральных микросхем.

Пассивные элементы полупроводниковых интегральных микросхем. Диффузионные резисторы, пленочные резисторы для интегральных микросхем, изготовленных по совмещенной технологии. МДП- транзистор в качестве резистора. Интегральные конденсаторы: электронно-дырочный переход в качестве конденсатора. МДП-конденсаторы. Соединительные металлические элементы, диффузионные шины.

Активные и пассивные элементы гибридных интегральных микросхем. Тонкопленочные и толстопленочные резисторы, пленочные конденсаторы, распределенные RC-структуры. Интегральные индуктивности. Подложки для гибридных интегральных микросхем.

Транзисторные ключи на биполярных и МДП-транзисторах. Ключи на комплементарных МДП-структурах как основа для построения микромоощных схем.

Транзисторно-транзисторные структуры и элементы с эмиттерной связью как основа для построения логических интегральных микросхем среднего и высокого быстродействия.

Логическая ячейка на элементах с инжекционным питанием. Структуры на GaAs для схем сверхвысокого быстродействия.

Логические ячейки на МДП-транзисторах, последовательное и параллельное включение МДП-транзисторов. МДП-структуры с зарядовой связью.

Элементы памяти на биполярных и МДП-структурах, динамические и статические оперативные запоминающие устройства. Полупроводниковые структуры для постоянных запоминающих устройств, FLASH-память.

Биполярные и МДП-элементы для интегральных операционных усилителей. Транзисторные структуры для СВЧ-усилителей

Приборы оптической электроники: светодиоды, лазеры, фотоприемники. Волоконно-оптические линии связи. Оптроны и оптоэлектронные ИС.

Солнечные элементы на монокристаллическом, поликристаллическом, аморфном и нанокристаллическом кремнии. Солнечные элементы на гетероструктурах. Полимерные солнечные элементы.

Задачи и принципы функциональной микроэлектроники. Физическая интеграция. Основные направления функциональной микроэлектроники.

Элементы криоэлектроники. Практическая значимость явления сверхпроводимости. Туннельные эффекты Джозефсона.

Пленочный криотрон, элементы на переходах Джозефсона.

Элементы магнитоэлектроники. Магнитные эффекты в тонких магнитных пленках, цилиндрические магнитные домены (ЦМД). Запоминающие и логические элементы на ЦМД.

Элементы акустоэлектроники. Пьезоэлектрический эффект. Объемные и поверхностные акустические волны. Пьезорезонаторы, акустоэлектрические усилители на поверхностных акустических волнах.

Радиоэлектронные компоненты. Пассивные и активные радиоэлектронные компоненты. Толсто пленочные резисторы. Основные типы постоянных и переменных резисторов. Конденсаторы. Типы, параметры и конструкции конденсаторов постоянной и переменной емкости. Линии задержки на поверхностных акустических волнах.

4. Физические основы и приборы квантовой электроники

Квантовомеханическое описание микрообъектов: волновая функция, ее физический смысл и математические свойства, уравнение Шредингера.

Операторы в квантовой теории: представление физических величин эрмитовыми операторами, их свойства, вычисление средних значений физических величин.

Оптические и безызлучательные переходы в квантовых системах. Спонтанное и вынужденное излучения. Постановка задачи о взаимодействии электромагнитного поля с веществом и основные выводы, свойства вынужденного излучения. Основные результаты ее решения.

Энергетические состояния и квантовые переходы в атомных системах. Оптические переходы в полупроводниках. Ширина и форма спектральных линий. Механизмы однородного и неоднородного уширения линий в газах и твердых телах.

Инверсия населенностей энергетических состояний. Коэффициент усиления лазерной среды. Принципы создания инверсной населенности. Насыщение, поглощение и усиление света.

Кинетические уравнения. Схемы работы лазеров. Взаимодействие различных типов колебаний. Самовозбуждение и насыщение усиления. Конкуренция мод, многомодовый режим. Нестационарная генерация. Модуляция добротности и синхронизация мод. Методы генерации сверхкоротких (фемтосекундных) импульсов света.

Оптические резонаторы. Основные типы: плоские, конфокальные, сферические, кольцевые. Устойчивость резонаторов. Типы колебаний, собственные частоты, добротность оптических резонаторов.

Нелинейные оптические эффекты. Преобразование частоты лазерного излучения, генерация гармоник, параметрическое усиление и параметрическая генерация света. Вынужденное рассеяние. Активная спектроскопия комбинационного рассеяния.

Мазеры. Мазер на пучке молекул аммиака. Мазер на пучке атомов водорода. Квантовый парамагнитный усилитель СВЧ.

Газовые лазеры: атомарные, ионные, молекулярные. Химические лазеры. Эксимерные лазеры. Устройство, принцип работы и сравнительные характеристики газовых лазеров.

Лазеры на свободных электронах.

Рентгеновские лазеры.

Твердотельные лазеры на диэлектрических кристаллах и стеклах: устройство, принцип работы, сравнительные характеристики. Рубиновый лазер. Лазеры на кристаллах и стёклах, активированных неодимом. Твердотельные перестраиваемые лазеры. Волоконные лазеры.

Жидкостные лазеры. Лазеры на органических красителях. Перестройка частоты жидкостных лазеров.

Полупроводниковые лазеры с электронной и оптической накачкой. Инжекционные лазеры на гетеропереходах. Инжекционные ДГС - лазеры. Полосковые лазеры. РО ДГС - лазеры. РОС-лазеры. Основные характеристики и конструкции полупроводниковых лазеров.

Основные применения приборов квантовой электроники в науке и технике.

5. Физические и физико-технологические принципы создания нанобъектов для устройств нанoeлектроники и приборов на квантовых эффектах

Фундаментальные основы кластерообразования. Модельные представления об устойчивых формах и массах кластеров. Принцип расчета кластерных серий с «магическими числами». Особенности кластеров и кластерных наносистем в зависимости от технологического генезиса (молекулярные, газофазные, твердотельные и коллоидные кластеры).

Полупроводниковые кластеры с оболочечной структурой. Матрично-изолированные кластерные наносистемы. Кластерные кристаллы. Клатраты. Электропроводящие и оптические свойства. Нанолазеры и светодиоды с регулируемой длиной волны.

Изменение магнитных свойств при переходе от коллективного магнетизма твердого вещества к оболочечному строению кластера. Магнитные фазовые переходы в кластере, Суперпарамагнетизм.

Межкластерные магнитные взаимодействия и взаимодействия с матрицей. Магнитные свойства наносистем. Гигантское магнетосопротивление. Суперферромагнетизм. Наносистемы для магнитной записи информации.

Фотохимические реакции с участием кластерных наносистем. Функциональная поверхность кластеров. Биомаркеры.

Полупроводниковые гетерокомпозиции с элементами пониженной размерности. Гетероструктурная концепция материалов оптоэлектроники. Свойства многокомпонентных твердых растворов. Изопериодные твердые растворы. Характер изменения физических и химических свойств от состава твердых растворов A^3B^5 , A^2B^6 и A^4B^6 . Модели инверсии зон. Интерполяционные зависимости параметра кристаллической решетки, значений энергетических зазоров в важнейших точках зоны Бриллюэна

Структуры с квантовыми ямами, множественными квантовыми ямами. Композиционные, легированные и комбинированные сверхрешетки, Квантовые провода. Квантовые точки. Наносистемы на базе квантоворазмерных элементов.

Эволюция материаловедческих задач. Контроль эпитаксиального роста. Самосборка и самоорганизация квантовых точек в полях упругой деформации.

Наноразмерный катализ. Наноприборы оптоэлектроники. Наноэлектроника на гетероструктурных нанопроводах.

Основные представления теории фракталов. Природа образования и свойства фрактальных кластеров и перколяционных наноконпозиционных кластеров Геометрические, алгебраические и стохастические фракталы. Фрактальная размерность.

Фрактальные нанообъекты, получаемые в различных нанотехнологических процессах. Компьютерное моделирование процессов образования фрактальных агрегатов. Модели диффузионно-ограниченной агрегации. Модели кластерно-кластерной агрегации.

Мультифракталы.

Особенности фрактальных нанообъектов, получаемых в золь-гель технологиях, в плазмохимических, реактивно ионно-плазменных и других процессах. Образование перколяционных фрактальных кластеров в наноконпозициях.

Основные элементы теории перколяции. Решеточные и континуальные задачи. Задача узлов. Задача связей. Вспомогательные геометрии. Покрывающие, включающие и дуальные решетки. Ориентированное протекание. Инварианты теории перколяции. Уровень протекания. Универсальные критические индексы. Фрактальная размерность перколяционного кластера вблизи порога протекания. Перколяционные сети и эволюция фрактальных кластеров.

Образование перколяционного кластера как геометрический фазовый переход. Возникновение аномальных свойств наноконпозиций в области порога протекания.

Моделирование перколяционных наносистем методом Монте-Карло. Метод обратных функций. Алгоритм Хушена - Копельмана – Кертжежа для идентификации кластеров в заданной перколяционной конфигурации. Экспериментальные результаты по анализу свойств в наносистемах из наночастиц различного типа «металл-диэлектрик», «магнит – немагнит», «проводник - сверхпроводник».

Роль размерных эффектов в индивидуальных наночастицах, вклад границ раздела и связь размеров наночастиц с физическими характеристическими параметрами.

Материаловедческие задачи формирования наносистем с монодисперсным распределением наночастиц по размерам. Принципы синтеза в нанореакторах. Синтез в обращенных мицеллах, жидких кристаллах, на функционализированных слоях, включая пленки Ленгмюра-Блоджетт. Разновидности темплатного порогенного синтеза.

Получение и применение структур с фуллеренами. Правило изолированных пентагонов. Теоретический вывод устойчивости форм фуллеренов. Полимерные структуры на основе фуллеренов. Наносистемы на основе интеркалированных фуллеритов. Эффект сверхпроводимости. Экзо- и эндодральные производные фуллеренов. Наносистемы

сверхплотной записи информации на эндодральных производных. Наносистемы на экзопроизводных фуллеренах для эмиссионной наноэлектроники. Луковичные наноструктуры на основе фуллеренов. Диаграмма Шлегеля. Металлокарбоэдрены (M_8C_{12}).

Фуллереноподобные материалы для мягкой нанолитографии, наночернил, темплатного синтеза пористых материалов фотохимии и нанофотоники. Фуллеренолы.

Углеродные нанотрубки (УНТ) и принципы наноэлектроники на УНТ. Классификация углеродных нанотрубок по количеству слоев, хиральности и электрическим свойствам. ФторУНТ гетероструктуры. Диоды Шоттки, одноэлектронные транзисторы, логические схемы на основе ветвящихся УНТ. Гибридные и эндодральные наносистемы на основе УНТ. Легированные УНТ, кремниевые, нитридгаллиевые, борнитридные и карбонитридные тубулярные наноструктуры.

Графен. Биграфен. Графан. Фтор-графен. Особенности наноэлектроники на графеновой основе.

Топологические изоляторы и дихалькогениды переходных металлов
Топологические изоляторы Дихалькогениды переходных металлов

Интеркалированный и терморасширенный графит.

Материаловедческие особенности получения неорганических микро- и нанотрубок в композиционных наноструктурах с использованием сил упругой деформации (метод Принца). Гетероструктурные сверхрешетки и мембраны, микро- и нанокапилляры, сформированные по методу Принца.

Наноустройства на материалах со структурным фазовым переходом.

Технические устройства со сверхплотной оптической записью информации на основе материалов со структурным фазовым переходом в нанобластях.

Создание и применение пористых нано- и микросистем. Модельные представления об образовании и росте пор. Коалесценция пор. Фрактальные модели образования пор. Фотолюминесценция в пористом кремнии. Самоорганизация пор в оксиде алюминия при электрохимическом травлении алюминия. Квазitemплатный синтез пористого кремния. Наносистемы с гигантским комбинационным рассеянием.

Щелевой кремний. Материаловедение фотонных кристаллов. Темплатный синтез с использованием полимерных материалов (блоксополимеров, дендримеров и других) и углеродных материалов в качестве порошков.

Наноматериалы для гибкой электроники. Материаловедческие особенности применения полимерных материалов для формирования микро- и наносистем методами наноимпринтинга. Методы нанощампа, штампа с выдавленным рельефом, нанопечати с рельефной кромкой.

Полимерные чернила. Методы сканирующей зондовой микроскопии для наномодификации полимеров.

Инкорпорирование нанокластеров в дендримерах. Перспективы для оптоэлектроники и фотоники.

Гибридные органо-неорганические нанокompозиты. Конструкционные и сенсорные устройства на основе органо-неорганических нанокompозитов. Мембраны. Суперконденсаторы. Максены. Перспективы использования в микро- и наноустройствах водородной энергетики. Биоматериалы

Гибридные наносистемы органических, неорганических и биоматериалов. Использование в построении наносистем биологических архитектур. Развитие неорганических наносистем с

использованием приемов ДНК-синтеза. Молекулярная электроника. Перспективы разработки материаловедческих основ молекулярного квантового компьютера

6. Физические основы и приборы нанoeлектроники

Наноструктуры с квантовым ограничением за счет приложенного внешнего электрического поля. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структуры; структуры с расщепленным затвором. НЕМТ- транзисторы)

Наноструктуры с квантовым ограничением за счет внутреннего (встроенного) электрического поля. Дельта-легируемые и n-i-p-i структуры; модуляционно-легируемые структуры; квантовые ямы, периодические квантовые ямы

Особенности транспорта при воздействии электрического поля. Баллистический транспорт в полупроводниках субмикронных приборах и углеродных нанотрубках. Фазовая интерференция электронных волн. Реализации магнитного эффекта Ааронова – Бома в кольцевых тонкопленочных структурах и углеродных нанотрубках; эффект расщепления траектории движения электронов в твердом теле под действием атома примеси; универсальные флуктуации проводимости

Приборы на интерференционных эффектах: Квантовый интерференционный транзистор, его конструкция; Кольцевая конструкция электронного интерференционного транзистора; Полевой транзистор на отраженных электронах. Полевой транзистор на преломленных электронах; Преломляющий переключатель для баллистических электронов, его структура и принцип работы.

Явление резонансного туннелирования. Энергетическая диаграмма и вольт-амперная характеристика типичной двухбарьерной структуры с квантовой ямой. Отрицательное дифференциальное сопротивление

Приборы нанoeлектроники на основе резонансного туннелирования:

Резонансно-туннельный диод и транзистор. включая резонансно-туннельный транзистор на горячих электронах; транзисторные структуры в виде управляемых затвором резонансно-туннельных диодов и логические элементы на резонансно-туннельных приборах,

Физические основы и приборы одноэлектроники, Одноэлектронное туннелирование Явление кулоновской блокады, Однобарьерные структуры, Двухбарьерные структуры . Кулоновская лестница. Упругое и неупругое сотуннелирование

Современные приборы на одноэлектронном туннелировании Одноэлектронный транзистор. Одноэлектронная ловушка. Одноэлектронный турникет и генератор накачки Генераторы на одноэлектронных транзисторах. Стандарты постоянного тока. Стандарты температуры.

Управляемые напряжением и управляемые зарядом логические элементы

Спин-зависимый транспорт носителей заряда. Физические основы гигантского магнитосопротивления и спин-зависимого транспорта. Перспективы спинтроники. Эффект гигантского магнитосопротивления в тонкопленочных структурах Явление осциллирующего обменного взаимодействия. Спин-поляризованный транспорт электронов через слоистые структуры

Манипулирование спинами носителей заряда в полупроводниках: расщепление состояний носителей заряда по спинам; эффект Рашбы; конкуренция спин-орбитального взаимодействия и квантового ограничения в двумерных системах; инжекция носителей заряда с определенным спином; механизмы переноса спин-поляризованных носителей заряда (механизм БираАронова-

Пикуса, механизм Эллиота-Яфета, механизм Дьяконова-Переля); определение спина носителей заряда. Эффект Кондо

Современных спинтронные приборы, такие как: магнитная головка воспроизведения на гигантском магнитосопротивлении; энергонезависимая память на гигантском магнитосопротивлении; энергонезависимая память на спин-зависимом туннелировании; Перспективы развития наноэлектроники и спинтроники.

7. Вакуумная и плазменная электроника

Рабочие среды, используемые в вакуумных и плазменных приборах и устройствах. Ионизованный газ и плазма (определение, слабо- и сильно- ионизованная плазма). Плазма положительного столба разряда и модели для ее описания. Эмиссионные свойства плазмы.

Свойства газовых разрядов и их применение в науке и технике. Способы ускорения плазменных потоков. Влияние магнитного поля на свойства плазмы. Применение закона «степени $3/2$ » в вакууме и плазме. Мощные генераторные и усилительные приборы с квазистатическим управлением.

Фотоэлектронные приборы. Электронные пушки для формирования неинтенсивных пучков. Электронные пушки для формирования интенсивных пучков. Формирование потоков заряженных частиц в системах с плазменными эмиттерами. Приборы и устройства несамостоятельного разряда. Плазменные панели. Водородные тиратроны и таситроны. Разрядники. Коммутаторы с холодным катодом. Плазменные ускорители с анодным слоем. Торцевые Холловские ускорители.

Плазменные системы для ионной очистки и травления на постоянном токе. Плазменные системы для ионной очистки и травления на переменном токе. Плазменные источники быстрых нейтралов. Плазменные источники электронов. Плазменные источники ионов. Вакуумные дуговые испарители. Магнетронные системы распыления. Термоионные системы осаждения. Методы и устройства генерации потоков кластеров. Использование плазмы для получения энергии.

8. Рентгеновский контроль и диагностика

Физические основы формирования рентгеновского излучения. Рентгеновский излучатель. Рентгеновское питающее устройство. Устройства для формирования потока рентгеновского излучения.

Основные параметры рентгеновского изображения. Особенности аналогового и цифрового рентгеновского изображения. Амплитудно-контрастный и фазоконтрастный способы повышения качества изображения

Электрохимические детекторы. Рентгеновские плёнки их характеристики. Люминесцирующие экраны. Экраны на основе фотостимулируемых люминофоров. Твердотельные координатно-чувствительные рентгеновские детекторы. Приборы с зарядовой связью.

Современные рентгенотелевизионные комплексы. Защитные камеры. Требования к источникам излучения. Одноэнергетичная съемка. Двухэнергетичная съемка. Методы обработки изображений и повышение качества снимков. Досмотровые комплексы дл

крупногабаритных грузов. Рентгеновские комплексы для медицины. Комплексы общего назначения. Стоматологические комплексы. Комплексы для маммографии.

Рентгеновские аппараты для структурного анализа. Конструкции дифрактометров. Рентгеновские аппараты для спектрального анализа. Кристалл-дифракционные спектрометры. Сканирующие и многоканальные спектрометры. Энергодисперсионные спектрометры. Анализаторы для контроля в потоке.

Газовые ионизационные детекторы. Ионизационные камеры. Газовое усиление. Пропорциональные счётчики. Счётчики Гейгера-Мюллера. Газовые сцинтилляционные счётчики. Газовые координатно-чувствительные детекторы рентгеновского излучения. Сцинтилляционные детекторы. Полупроводниковые детекторы.

Литература

К разделу 1-6

1. Нанотехнология (Физика. процессы, диагностика, приборы) Под ред. В.В. Лучинина, Ю.М. Таирова -М.: Физматлит, 2006
2. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. - М.: Наука, 1977
3. Шалимова К.В. Физика полупроводников. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
4. Сорокин В.С. .Б.Л. Антипов, Н.П. Лазарева Материалы и элементы электронной техники. В 2-х т. - М.: Академия, 2006
5. Наночастицы, наносистемы и их применение. Ч.1. Коллоидные квантовые точки /Под ред Мошников В.А., Александровой О.А. — Уфа: Аэтерна, 2015. — 236 с.
6. Наночастицы, наносистемы и их применение. Часть 2. Углеродные и родственные слоистые материалы для современной наноэлектроники./Под ред Мошников В.А., Александровой О.А. — Уфа: Аэтерна, 2016. — 330 с.
7. Мошников В.А., Спивак Ю.М., Алексеев П.А., Пермяков Н.В. Атомно-силовая микроскопия для исследования наноструктурированных материалов и приборных структур Учебное пособие. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. — 144 с
8. Химические методы получения керамических и полимерных наноматериалов из жидкой фазы
/Под ред Лучинин В.В и Шиловой О.А.
Санкт-Петербург, 2013. Сер. Физика и технология микро- и наносистем , 218 с.
9. Гареев Г.З., Лучинин В.В. Терагерцовые системы и технологии (обзор современного состояния) /СПбГЭТУ «ЛЭТИ» , СПб., 2015, 228с
10. Физика и технология микро - и наносистем (ред Лучинин В.В.) СПб.: Русская коллекция, 2011. 240 с.
11. Ормонт Б.Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников и диэлектриков. - М.: Высшая школа, 1982.
12. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. – СПб.: Лань, 2006.
13. Пихтин А.Н. Квантовая и оптическая электроника. - - М. : Абрис, 2012. - 655 с
14. Пичугин И.Г., Таиров Ю.М. Технология полупроводниковых приборов. - М.: Высшая школа, 1984.
15. Гареев К.Г., Мирошкин В.П. Физические основы магнитных материалов /СПбГЭТУ «ЛЭТИ» , СПб., 2014, 408с.
16. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. – СПб.; Лань. 2002
17. Барыбин А.А., Сидоров В.Г. Физико-технологические основы электроники. СПб.: Лань, 2001, 272 с.
18. Барченко В.Т., Быстров Ю.А., Колгин Е.А. Ионно-плазменные технологии в электронном производстве. СПб.: Лань, 2001, 254 с
19. Золь-гель технология микро- и нанокомпозитов-/ В.А. Мошников, Ю.М. Таиров, Т.В. Хамова, О.А. Шилова - СПб.: Лань, 2013
20. Панов М.Ф., Соломонов А.В., Филатов Ю.В. Физические основы интегральной оптики.- М.: Академия, 2010.
20. Наноэлектроника / В.Е. Борисенко, А.И. Воробьева, Е.А. Уткина. –М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. -223 с.

21. Основы нанoeлектроники / В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. –М.: Логос. 2006. - 496 с

К разделу 7.

1. Сушков А.Д. Вакуумная электроника. Физико-технические основы: Учебное пособие. – СПб, «Лань», 2004.

2. Барченко В.Т. Плазменные приборы и устройства на базе тлеющего разряда, СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2002.

3. Вакуумная и плазменная электроника: Методические указания по дисциплине «Вакуумная и плазменная электроника» для студентов заочной формы обучения / Сост.: В.Т. Барченко, С.М. Мовнин, А.К. Шануренко. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007.

К разделу 8

1. Клюев В.В. Рентгентехника: Справочник в 2 кн./ В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин, В. Аертс и др.; Под ред. В.В. Клюева. - М.: Машиностроение, 1992.

2. Хараджа Ф.Н. Общий курс рентгентехники, М, 1988

3. Грязнов А.Ю., Потрахов Н.Н. Применение ускорителей и рентгеновских приборов: Учеб. пособие. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006, 46 с.