

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования**  
**«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА**  
по научной специальности 2.2.3 – технология и оборудование для  
производства материалов и приборов электронной техники

Ставрополь, 2024

## **Введение**

Программа кандидатского экзамена по научной специальности 2.2.3 – технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники.

Изучение дисциплины 2.2.3 – технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники и последующая сдача экзамена являются обязательными для каждого соискателя ученой степени кандидата наук, позволяя соблюсти единый минимум требований к уровню знаний.

Аспирант подтверждает степень освоения подготовкой и защитой реферата. Без сдачи рефератов аспирант (соискатель) не допускается к кандидатскому экзамену.

## **Порядок сдачи кандидатского экзамена**

Порядок организации приема кандидатских экзаменов определяется соответствующими нормативными документами и предусматривает обязательное написание реферата по соответствующей научной специальности.

Цель экзамена – установить глубину профессиональных и научных знаний аспиранта или соискателя ученой степени.

В экзаменационный билет включаются 3 вопроса. Для подготовки по билету отводится 60 минут. При подготовке к ответу аспиранту или соискателю предоставляется право пользования программой кандидатского экзамена.

## **Подготовка реферата по научной специальности**

Отдельным этапом является подготовка аспирантом или соискателем реферата по научной специальности. Аспирант на базе самостоятельного изучения материала готовит реферат по научной специальности, соответствующей направлению его научного исследования. Проверку подготовленного реферата проводит научный руководитель. При наличии оценки «зачтено» по реферату аспирант или соискатель допускается к сдаче кандидатского экзамена.

## **Критерии оценивания**

Оценка «отлично» выставляется аспиранту, если он глубоко и прочно усвоил материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение.

Оценка «хорошо» выставляется аспиранту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические

положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка «удовлетворительно» выставляется аспиранту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения в применении теоретических положений на практике.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется аспиранту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, не может увязывать теорию с практикой.

## **Содержание курса**

### **2.1 Физические и физико-химические основы электронной техники**

Основы кристаллографии. Симметрия кристаллов и анизотропия их свойств. Атомные и ионные радиусы. Химическая связь. Соотношение ионных радиусов и структура кристаллов. Типы структур кристаллов.

Структура и симметрия идеальных и реальных кристаллов; основные типы дефектов кристаллической структуры. Политипизм и полиморфизм. Термодинамика дефектов кристаллической решетки. Собственные и примесные дефекты в элементарном кристалле; точечные и протяженные дефекты. Температурная зависимость равновесных концентраций дефектов. Влияние дефектов на физические и химические свойства кристаллов - параметры решетки, плотность, пластичность, диффузию, электропроводность, оптические и магнитные свойства, теплопроводность, теплоемкость, коррозионную устойчивость и др.

Дефекты, вызванные инородными примесями. Влияние примесей на равновесие собственных дефектов. Физико-химические основы процессов легирования. Изменение валентности примесных ионов. Взаимосвязь ионной и электронной разупорядоченности в кристаллах. Взаимное влияние примесей на их растворимость в кристаллической фазе. Современные методы исследования концентрации и распределения дефектов, вызванных нарушениями стехиометрии кристалла. Взаимодействие дефектов.

Механизмы диффузии. Элементы математического описания диффузионных процессов. Особенности, диффузии по вакансиям, дислокациям и по поверхности кристаллов. Связь между подвижностью носителей заряда и коэффициентом диффузии. Проявление зависимости: электропроводность - концентрация дефектов - давление-температура. Процессы, контролируемые дефектами при спекании кристаллов. Кинетика гетерогенных процессов и ее методы в технологии получения кристаллов с дефектами. Основные закономерности топохимических реакций. Методы определения кинетических констант.

Дифракция в кристаллах и обратная решетка; упругие колебания в кристаллах, оптические и акустические фононы; тепловые свойства

кристаллов; модель свободных электронов, основы зонной теории, классификация твердых тел, статистика электронов.

Диэлектрические и магнитные свойства твердых тел, оптические свойства, ферромагнетизм, сегнетоэлектричество, сверхпроводимость.

Электрические свойства металлов, диэлектриков и полупроводников. Зонная теория идеальных и реальных полупроводников. Основные определения. Зонная структура энергетического спектра носителей заряда. Распределение Ферми-Дирака. Электропроводность металлов, полупроводников и диэлектриков и их физическая природа. Собственные и примесные полупроводники. Доноры, акцепторы, глубокие центры. Диффузия и дрейф носителей, генерация и рекомбинация, электроннодырочный переход; поверхностные электронные состояния, эффект поля.

Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение и отражение света. Эффект Фарадея. Фотопроводимость. Фотоэффект. Эмиссия света из полупроводников. Межзонная излучательная, безизлучательная и ударная рекомбинация. Катодо-, фото- и электролюминесценция. Излучательная рекомбинация.

Когерентное излучение. Поверхностные состояния в полупроводниках; слои обогащения, инверсии и обеднения. Полупроводники в сильном электрическом поле. Влияние сильного электрического поля на подвижность носителей заряда. Эффект Франца-Келдыша. Эффект Ганна.

Поляризация диэлектриков и ее физическая сущность. неполярные и полярные диэлектрики. Проводимость диэлектриков и ее физическая природа. Диэлектрические потери и их природа.

Элементарные процессы зародышеобразования и роста кристаллов. Существующие теории роста на атомногладкой и атомношероховатой поверхности, теории нормального и непрерывного роста. Теоретические основы кристаллизационных методов очистки и выращивания монокристаллов.

Гетерогенные равновесия. Условия стабильности и равновесия фаз. Типы диаграмм фазовых равновесий двух- и многокомпонентных систем. Диаграммы как источник информации необходимой для выбора и оптимизации метода синтеза материалов с заданным составом и свойствами, определение условий их стабильного существования.

Понятие о фазах переменного состава. Отображение явлений нестехиометрии на диаграммах состояния. Р-Т-Х - диаграмма, как источник информации для получения кристаллов с заданным отклонением от стехиометрии.

Основные принципы термодинамики неравновесных процессов. Термодинамика неравновесных процессов в технологии материалов электронной техники. Характеристика открытых и непрерывных систем. Составление материальных и энергетических балансов. Стационарные состояния в непрерывных системах. Истолкование процессов кристаллизации с позиций неравновесной термодинамики.

Основы физической химии высокодисперсных систем. Принципы создания наноконпозиционных материалов. Термодинамическая стабильность наноразмерных материалов. Фазовые и структурные переходы в сверхтонких (поверхностных) системах. Теория зародышеобразования при формировании новой фазы на поверхности и в объеме твердого тела. Образование дисперсных структур на поверхности и в объеме при эпитаксии, ионной имплантации и термообработке.

Поверхность как особая область твердого тела. Идеальная и реальная поверхность твердого тела. Структурно-механические свойства поверхности: микро- и наношероховатость, микро- и нанопористость, микротрещины, краевые и винтовые дислокации, точечные дефекты; триботехнические характеристики поверхности, коэффициент трения скольжения, износостойкость, антифрикционные слои. Электрофизические свойства поверхности: зарядовые состояния, встроенный и индуцированный заряды, электростатическое взаимодействие заряженных поверхностей; поверхностно-активные вещества; термоэлектронная, электронная и ионно-полевая эмиссии; электромагнитное взаимодействие, электромагнитная индукция, токи индуцированные электромагнитными полями, скин-эффект. Проявление размерных эффектов и эффектов масштабирования при электростатических и электромагнитных взаимодействиях.

Основы кинетической теории газов. Распределение Максвелла-Больцмана. Средние значения скорости движения, длины свободного пробега и числа столкновений молекул. Явления переноса. Режимы течения газов. Вакуум, методы получения и измерения. Испарение. Зависимость давления насыщенных паров от температуры. Газовый разряд. Ионизация газов, ионизационный потенциал. Рекомбинация. ВАХ несамостоятельного разряда. Тлеющий, дуговой, искровой и коронный разряды. Плазма и ее свойства. Характеристики плазмы (изотермичная, неизотермичная, равновесная, неравновесная, высоко-, низкотемпературная, идеальная, неидеальная). Ионизованный газ и плазма; элементарные процессы в плазме и на пограничных поверхностях; основные методы генерации плазмы; модели для описания свойств плазмы; типы газовых разрядов; общие свойства плазмы: явления переноса, плазма в магнитном поле, колебания, неустойчивости и эмиссионные свойства плазмы, излучение плазмы.

Физика процессов генерации плазмы в газовых разрядах: тлеющем, дуговом, высокочастотном (ВЧ) и сверхвысокочастотном (СВЧ). Разряды во внешнем магнитном поле, движение частиц в плазме. Взаимосвязь между рабочими, технологическими и конструктивными параметрами разрядных систем. Математические модели процессов и устройств, вольт-амперные характеристики разрядов. Электронная эмиссия. Основы электронной теории твердого тела, термоэлектронная, автоэлектронная, взрывная, вторично-электронная, фотоэлектронная эмиссия.

Электронный поток, его формирование и транспортировка: интенсивные и неинтенсивные, релятивистские и нерелятивистские электронные потоки.

## 2.2 Материалы электронной техники и технологии их получения

Общая классификация материалов по составу, свойствам и техническому назначению. Физическая природа электропроводности металлов, сплавов, полупроводников, диэлектриков и композиционных материалов; сверхпроводящие металлы и сплавы; характеристика проводящих и резистивных материалов во взаимосвязи с их применением в электронной технике.

Элементарные полупроводники. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Современные методы выращивания монокристаллов элементарных полупроводников. Принципы выращивания структурно-совершенных монокристаллов. Микродефекты в монокристаллах кремния. Механическая, химикомеханическая, химическая обработка и очистка поверхности полупроводников.

Полупроводниковые соединения АПВV. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Синтез и выращивание объемных монокристаллов соединений АПВV в связи с Р-Т-Х диаграммами. Методы кристаллизации и легирования. Тройные диаграммы состояния АП - ВV - примесь. Компенсация и получение полуизолирующих кристаллов. Специфика подготовки подложек различных соединений АПВV. Влияние кристаллографических ориентаций. Травление жидкостное, расплавное, газовое.

Получение широкозонных материалов – нитриды галлия, алюминия, бора. Эпитаксия арсенида галлия, фосфида галлия, арсенида индия, антимонида индия и твердых растворов. Применение соединений АПВV в СВЧ-технике, оптоэлектронике, квантовой электронике.

Полупроводниковые соединения АПВVI и АIVBVI . Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Синтез и выращивание монокристаллов соединений с двумя летучими компонентами. Методы выращивания монокристаллов из газовой фазы и из расплава. Эпитаксия соединений. Методы управления стехиометрическим составом. Термообработка. Особенности получения соединений: сульфида кадмия, селенида кадмия, теллурида кадмия, сульфида свинца, твердых растворов. Области применения кристаллов: лазеры, оптические модуляторы, акустоэлектронные приборы, ИК-фотоприемники.

Аморфные полупроводники. Аморфный кремний и сплавы на его основе. Применение аморфного кремния в фотоэлектрических преобразователях. Физикохимические, электрофизические и оптические свойства. Понятие о физикохимических механизмах переключения памяти и оптической записи информации в халькогенидных стеклах. Особенности стеклообразования в халькогенидных системах и в оксидных системах. Синтез стеклообразных полупроводников и их свойства.

Магнитные материалы. Металлы и сплавы, ферриты, магнитодиэлектрики, магнитные полупроводники, аморфные интерметаллические соединения. Магнитные пленки. Цилиндрические

магнитные домены (ЦМД). Методы их получения и контроля. Принцип действия запоминающих устройств на ЦМД.

Материалы вакуумной электроники. Требования к чистоте материалов и их газосодержанию. Основные требования, предъявляемые к материалам для получения вакуумплотных соединений. Особенности технологии изготовления корпусов ИС на основе металлов и стекловидных материалов: стекол, ситаллов и композиционных материалов.

Материалы оптоэлектроники. Излучательные свойства твердых тел. Излучение света в полупроводниках. Полупроводники с прямой и непрямой запрещенной зоной. Материалы полупроводниковых светодиодов, лазеров и фотоприемников. Активные диэлектрики ( $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{LiTaO}_3$ ,  $\text{KTiOPO}_4$ ), их физико-химические и оптико-физические свойства. Их применение в оптоэлектронике. Материалы для изготовления волоконных и планарных оптических волноводов.

Материалы акустоэлектроники. Пьезоэлектрики. Пьезоэлектрические свойства монокристаллов и текстурированных материалов. Сегнетоэлектрики.

Наноматериалы. Современные технологические методы формирования наноструктурированных материалов. Методы литографии высокого разрешения. Эпитаксиальные методы. Электрохимические методы. Золь-гель технология. Методы молекулярного наслаивания. Органические материалы в электронной технике.

Органические полимерные диэлектрики. Методы получения полимеров реакциями полимеризации и поликонденсации. Радикальные и ионные процессы. Типы органических полимеров, их строение и свойства. Применение металлоорганических соединений (МОС) в микроэлектронике. Типы МОС, методы синтеза и разложения металлоорганических соединений. Применение металлоорганических соединений для получения чистых металлов, диэлектрических пленок, полупроводниковых соединений.

Неорганические стекловидные диэлектрики в электронной технике и в микроэлектронике. Требования к диэлектрикам различного назначения и области их применения: подложки, материалы для бескорпусной защиты, пассивации, герметизации ИС, межслойной и межкомпонентной изоляции ИС, трехмерных структур, структур КНИ, изоляции электродов газоразрядных индикаторных панелей, элементов интегральной оптики и акустоэлектроники.

Сверхпроводящие материалы. Кристаллическая структура и изотипический эффект. Эффект Джозефсона. Высокотемпературные керамические сверхпроводники. Технология изготовления.

Фоторезисты. Определение и классификация. Требования к фоторезистам. Разрешающая способность и химическая стойкость. Основные фототехнические характеристики фоторезистов. Позитивные и негативные фоторезисты. Фотохимические реакции в процессе фотолитографии. Материалы, используемые для производства фоторезистов и проведения процессов литографии. Электронрезисты и рентгенрезисты. Их характеристики. Технология производства.

Исходные вещества, используемые для производства монокристаллов и пленок. Особо чистые элементы и материалы, их роль в современной технике. Понятие о чистоте вещества, методы определения и оценка чистоты. Физико-химические основы глубокой очистки веществ. Понятие о коэффициенте разделения и распределения. Методы очистки. Зонная очистка. Сублимация. Ректификация. Хроматографическая очистка. Экстракция, Электролиз. Методы получения гидридов, хлоридов металлов и металлоорганических соединений.

### **2.3 Методы исследования материалов и элементов электронной техники**

Методы измерения электрических параметров полупроводников. Измерение подвижности, удельного сопротивления, концентрации носителей, доноров и акцепторов. Способы измерения толщины эпитаксиальных слоев. Характеристики однородности электрических свойств слоев на площади и толщине. Методы определения профиля распределения легирующих примесей. Измерение электрофизических параметров структур диэлектрик-полупроводник методом вольтфарадных характеристик.

Методы исследования реальной структуры кристаллов, определения фазового состава, прецизионного измерения параметров решетки. Методы изучения объемных дефектов. Дифракция медленных электронов. Обратное рассеяние ионов.

Исследование строения поверхностных слоев монокристаллов. Метод БергаБарретта. Оценка совершенства кристаллов с помощью двухкристального спектрометра. Методы просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии и примеры ее использования.

Оптические методы металлографических исследований. Наблюдение объектов в поляризованном свете. Топография поверхности. Наблюдение микродефектов поверхности эпитаксиальных слоев. Принципы двухлучевой и многолучевой интерферометрии и их применение. Выявление дислокаций методом травления. Механизм формирования ямок травления на дислокациях.

Методы определения химического состава. Химические методы анализа: экстракция, хроматография, полярография, потенциометрия. Объемный анализ. Гравиметрия. Спектральный анализ. Атомно-адсорбционный анализ. Люминисцентный метод. Молекулярная спектроскопия. Электронный парамагнитный резонанс, ядерный парамагнитный резонанс. Нейтронно-активационный анализ. Метод радиоактивных индикаторов, Оже-спектроскопия, рентгено-флуоресцентный анализ, лазерная и вторично-ионная масс-спектроскопия.

Методы определения деформаций в структурах микроэлектроники. Определение тензора деформаций с помощью двухкристальной рентгеновской дифрактометрии. Полярография. Определение деформаций по прогибу пластин.

Методы исследования наноструктур. Электронная микроскопия. Оптика ближнего поля. Туннельная и атомно-силовая микроскопия.

## 2.4 Технология получения структур микроэлектроники

Методы эпитаксии кремния из газовой фазы. Легирование и автолегирование. Особенности выращивания структур со скрытыми слоями. Газофазная эпитаксия. Хлоридный, хлоридно-гидридный и МОС-гидридный методы. Жидкостная эпитаксия и области ее применения. Механизм кристаллизации из раствора в расплаве. Фазовое равновесие. Равновесная и неравновесная кристаллизация. Коэффициент распределения примесей. Молекулярно-лучевая эпитаксия.

Структуры для СВЧ- транзисторов, диодов Ганна и Шоттки. Особенности получения тонких слоев с заданной неоднородностью распределения примесей.

Структуры со скрытыми слоями. Получение структур с диэлектрическими и поликристаллическими слоями.

Получение структур Кремний на Изоляторе (КНИ). Методы формирования КНИ структур. Методы прямого и непрямого сращивания для формирования структур КНИ. Глубокая имплантация ионов кислорода и азота. Расчет требуемых доз и энергий. Отжиг рекристаллизации ионно-имплантированных структур. Дефекты в ионно-имплантированных структурах КНИ. Формирование КНИ-структур методом окисления пористого кремния. Технология получения гетерослоев кремния на сапфире. Особенности получения и электрофизические свойства слоев.

Структуры полупроводник-диэлектрик. Методы получения и основные электрофизические свойства структур диэлектрик-германий. Структуры диэлектрик – антимонид индия. Технология получения структур электрохимическим окислением. Электрофизические свойства структур. Основные нестабильности и методы их уменьшения. Структуры диэлектрик-арсенид галлия. Методы получения и электрофизические свойства. Основные трудности изготовления структур.

Структуры оптоэлектроники. Технология получения гетероструктур для лазеров и светодиодов. Планарные и канальные оптические волноводы. Особенности получения многослойных структур. Технология получения структур для солнечных батарей.

Процессы толсто пленочной технологии. Приготовление порошков и паст для проводников и резисторов на основе палладия, серебра, золота, рутения, иридия, кадмия. Получение резисторов на основе окислов редких металлов, боридов, карбидов и нитридов. Приготовление порошков и диэлектрических паст на основе титанатов бария, кальция, висмута и др.

Процесс ионного распыления материалов. Особенности распыления металлов и диэлектриков. Зависимость коэффициентов распыления различных факторов. Закономерности удаления материала с распыляемой поверхности и особенности их использования в технологических процессах микроэлектронного производства. Моделирование процессов распыления.

Применение ионно-плазменных распылительных систем для нанесения и травления материалов. Физико-технологические основы процессов

осаждения пленок и травления материалов. Модели процессов осаждения и травления материалов.

Методы нанесения тонких пленок в вакууме: вакуум-термический, термоионный, электронно-лучевой, ионно-плазменный (с использованием разрядов на постоянном токе (ПТ), а также ВЧ и СВЧ разрядов), с помощью автономных ионных источников. Магнетронные распылительные системы.

Активные индикаторы. Электронно-лучевые трубки, светоизлучающие диоды, электролюминесцентные, газоразрядные индикаторы и др. Пассивные индикаторы. Жидкокристаллические, электрохромные индикаторы, индикаторы на PLZT- керамике и др. Сравнительные характеристики активных и пассивных индикаторов. Жидкокристаллические материалы. Основные электрооптические эффекты в жидких кристаллах.

Нанотехнология. Современные технологические методы формирования наноструктур. Процессы самоорганизации и самоформирования в технологии наноструктур. Проблемы создания упорядоченных наноструктурированных материалов на большой площади.

### **Список литературы**

1. Глазов В.М., Павлова Л.М., Химическая термодинамика и фазовые равновесия, М., Химия, 1981 г.
2. Чистяков Ю.Д., Райнова Ю.П., Физико-химические основы технологии микроэлектроники, М., Металлургия, 1979 г.
3. Сорокин И.Н. Акуленок М.В. Технология электронных компонентов, М., МИЭТ, 1999.
4. Раскин А.А., Картушина А.А., Баровский Н.В. Технология материалов электронной техники, М., МИЭТ, 1999.
5. Афанасьев В.П., Ганенков Н.А., Пщелко Н.С. Материалы и компоненты функциональной электроники, СПбГЭТУ (ЛЭТИ), Санкт-Петербург, 1999.
6. Арзамасов Б.Н., Макарова В.И., Мухин Г.Г., Материаловедение, (под ред. Б.Н. Арзамасова), М., изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.
7. Айвазов А.А., Будагян Б.Г., Вихров С.П., Попов А.И., Неупорядоченные полупроводники, М: Высшая школа, 1994 г.
8. Будагян Б.Г., Шерченков А.А., Материалы твердотельной электроники, М., МИЭТ, 1999.
9. Гусев А.И., Ремпель А.А., Нанокристаллические материалы, М., Физматлит, 2001.
10. Технология СБИС : В 2-х кн./под ред. С. Зи. - М. : Мир, 1986
11. Брудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии. М., Мир, 1985.
12. Красников Г.Я., Зайцев Н.А., Система кремний-диоксид кремния в субмикронных СБИС, М., Техносила, 2003.
13. Красников Г.Я., Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов, М., Техносила, 2002.

14. Данилин Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. М., Энергоатомиздат, 1989.
15. Данилин Б.С., Киреев В.Ю. Применение низкотемпературной плазмы для травления и очистки материалов, М., Энергоатомиздат, 1987.
16. Сорокин В.С. Методы формирования полупроводниковых сверхрешеток и квантоворазмерных структур, СПбГЭТУ, 1996.
17. Ганенков Н.А., Закржевский В.И., Пчелко Н.С., Теория и расчет электромеханических преобразователей на активных диэлектриках, РИО ЭТУ, 1995.
18. Павлов П.В., Хохлов А.Ф., Физика твердого тела, М., Высшая школа, 2000.
19. Кардона М., Основы физики полупроводников, М., Физматлит, 2002.
20. Райзер Ю.П. Физика газового разряда, М., Наука, 1987.
21. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. М. Высшая школа, 2001.
22. Кухаркин Е.С., Электрофизика информационных систем, М. Высшая школа, 2001.
23. Введение в микромеханику, Под ред. М. Онами, М. Металлургия, 1987.
24. Рычина Т.А., Зеленский А.В., Устройства функциональной электроники и электро-радиоматериалы, М., Радио и связь, 1989.
25. Щука А.А. Функциональная электроника. М., МИРЭА, 1998.
26. Красников Г.Я., Зайцев Н.А. Физико-технологические основы обеспечения качества СБИС, М., Микрон-принт, 1999, ч. 1.
27. Коркишко Ю.Н., Борисов А.Г., Никитина Н.Г., Суханова Л.С., Петрова В.З., Методы исследования состава и структуры материалов электронной техники, Часть 1, Методы исследования состава материалов электронной техники / Под ред. Ю.Н. Коркишко, – М., МИЭТ, 1997.
28. Матына Л.И., Федоров В.А., Коркишко Ю.Н., Методы исследования состава и структуры материалов электронной техники, Часть 2, Методы исследования структуры материалов электронной техники / Под ред. Ю.Н. Коркишко, М., МИЭТ, 1997.
29. Коротеев А.А., Малогабаритные энерго-напряженные системы транспортировки электронных пучков в плотные среды, М., Машиностроение, 2003.
30. Крайнев А.Ф., Идеология конструирования, М., Машиностроение, 2003.
31. Редин В.М. Образование и распространение аэрозолей в технологических объемах микроэлектроники. М., МИЭТ, 1992.
32. Редин В.М., Минкин М.Л. Исследование физических процессов загрязнения поверхности полупроводниковых пластин в чистых производственных помещениях микроэлектроники. М., МИЭТ, 1992.
33. Гребенкин В.З., Николаевский Е.В., Редин В.М. Элементы динамики и триботехники механизмов полупроводникового производства. М., МИЭТ, 1991.

34. Чистые помещения / Под ред. И. Хаякавы. М., Мир, 1990.
35. Норенков И.П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем, М., Высшая школа, 1986.
36. Быков В.П. Методическое обеспечение САПР в машиностроении, Л., Машиностроение, 1989.
37. Сырчин В.К. САПР и моделирование технических систем, М., МИЭТ, 1997.
38. Калинина И.С. Расчет и конструирование чистых производственных помещений, М., МИЭТ, 1998.
39. Ануфриенко В.В. Процессы и оборудование фотолитографической обработки, М., МИЭТ, 1998.
40. Гусев В.В., Самойликов В.К. Физические основы проектирования оборудования, М., МИЭТ, 1999.
41. Симонов Б.М., Заводян А.В., Грушевский А.М., Конструкторско-технологические аспекты разработки ИС и микросборок, М., МИЭТ, 1998.

### **Интернет-ресурсы**

- Росстата – [www.gks.ru](http://www.gks.ru);
  - электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» – [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru);
  - Электронный каталог СКФУ <http://catalog.ncfu.ru/catalog/ncfu?BASE>;
  - ЭБС «Университетская библиотека ONLINE», <http://biblioclub.ru>;
  - Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, <http://elibrary.ru>;
  - Электронная библиотека диссертаций РГБ, <http://diss.rsl.ru>;
  - [www.rosneft.ru](http://www.rosneft.ru)
- Электронная                      библиотечная                      система                      «IPRbooks»
- <http://www.iprbookshop.ru>