

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»
(НГТУ)

УТВЕРЖДАЮ



Проректор по научной работе

А.А. Куркин

«30» мая 20 22 г.

ПРОГРАММА

вступительных испытаний по специальной дисциплине
для поступающих в аспирантуру

**Научная специальность: 2.2.3 - Технология и оборудование для
производства материалов и приборов электронной техники**

Нижний Новгород, 2022

Программа вступительного испытания по специальной дисциплине разработана в соответствии с паспортом научной специальности 2.2.3. «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники»

Вопросы к вступительному испытанию в аспирантуру по научной специальности 2.2.3. «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники»

Введение

В основу данной программы положены следующие вузовские дисциплины: "Кристаллография", "Методы исследования состава и структуры материалов электронной техники", "Физика и химия полупроводников", "Квантовая и оптическая электроника", "Технология материалов электронной техники", "Физико-химические основы технологии микроэлектроники", "Процессы микро- и нанотехнологии". "Физические основы электронной техники", "Основы технологии производства изделий электронной техники", "Оборудование электронной промышленности", "Расчет и конструирование оборудования электронной промышленности", "Моделирование процессов и оборудования электронной промышленности".

Физические и физико-химические основы электронной техники

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

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

Дефекты, вызванные инородными примесями. Влияние примесей на равновесие собственных дефектов. Физико-химические основы процессов легирования. Взаимное влияние примесей на их растворимость в кристаллической фазе. 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.

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, электронно-дырочный переход; поверхностные электронные состояния.

Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение и отражение света. Фотопроводимость. Фотоэффект. Эмиссия света из полупроводников. Межзонная излучательная, безизлучательная и ударная рекомбинация. Катодо-, фото- и электролюминесценция. Излучательная рекомбинация. Когерентное излучение. 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. Теоретические основы кристаллизационных методов очистки и выращивания монокристаллов.

Гетерогенные равновесия. Условия стабильности и равновесия фаз. Типы диаграмм фазовых равновесий двух- и многокомпонентных систем.

Основные принципы термодинамики неравновесных процессов. Термодинамика неравновесных процессов в технологии материалов электронной техники. Характеристика открытых и непрерывных систем. Составление материальных и энергетических балансов.

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.

Поверхность как особая область твердого тела. Идеальная и реальная поверхность твердого тела. Структурно-механические свойства поверхности: микро- и шероховатость, микро- и нанопористость, микротрещины, краевые и винтовые дислокации, точечные дефекты; коэффициент трения скольжения. Электрофизические свойства поверхности: зарядовые состояния, встроенный и индуцированный заряды, электростатическое взаимодействие заряженных поверхностей; 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. Рекомбинация. Плазма и ее свойства. Характеристики плазмы (изотермичная, не изотермичная, равновесная, неравновесная, высоко-, низкотемпературная, идеальная, неидеальная). Ионизованный газ и плазма; основные методы генерации плазмы; типы газовых разрядов; общие свойства плазмы: явления переноса, плазма в магнитном поле, колебания, излучение плазмы.

Электронная эмиссия. Основы электронной теории твердого тела, термоэлектронная, автоэлектронная, взрывная, вторично-электронная, фотоэлектронная эмиссия.

Материалы электронной техники и технологии их получения

Общая классификация материалов по составу, свойствам и техническому назначению. Физическая природа электропроводности металлов, сплавов, полупроводников и диэлектриков; сверхпроводящие металлы и сплавы; характеристика проводящих и резистивных материалов.

Элементарные полупроводники. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Методы выращивания монокристаллов элементарных полупроводников. Принципы выращивания структурно-совершенных монокристаллов. Микродефекты в монокристаллах кремния. Механическая, химико-механическая обработка и очистка поверхности полупроводников.

Полупроводниковые соединения АПВV. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Синтез и выращивание объемных монокристаллов соединений АПВV. Методы кристаллизации и легирования. 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.

Полупроводниковые соединения АПВVI и AIVBVI. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Методы выращивания монокристаллов из газовой фазы и из расплава. Эпитаксия соединений. 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. Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Синтез стеклообразных полупроводников и их свойства.

Магнитные материалы. Металлы и сплавы, ферриты, магнитодиэлектрики.

Материалы вакуумной электроники. Требования к чистоте материалов и их газосодержанию. Особенности технологии изготовления корпусов ИС на основе металлов и стекловидных материалов: стекол 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. 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. Применение металлоорганических соединений (МОС) в

микроэлектронике. 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, структур КНИ.

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

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. Электронорезисты и рентгенорезисты. Их характеристики.

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.

Физические основы приборов электронной техники

Свойства p-n перехода. Электро- и теплопроводность полупроводников. Рассеяние носителей заряда. Эффект Холла. Магнетосопротивление. Диффузия носителей и примесей. Работа выхода. Эмиссия электронов. Термо-ЭДС. Эффект Пельтье и эффект Зеебека.

Физические основы работы основных типов полупроводниковых приборов: диодов, биполярных и полевых транзисторов, диодов Ганна.

Явления переноса в твердых телах, контактные явления в полупроводниках, контакт металл-полупроводник и металл-диэлектрик-полупроводник (МДП), электронно-дырочный переход, полупроводниковые диоды, биполярные транзисторы, МДП-транзисторы.

Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях; траектория движения частиц в комбинированных полях. Электровакuumные и газоразрядные приборы: приборы СВЧ, фотоумножители, лучевые приборы, электронно-оптические преобразователи, газоразрядные приборы.

Источники излучения. Физические основы работы лазеров. Газовые и твердотельные лазеры. Полупроводниковые светодиоды и лазеры. Классификация и принцип работы. Полупроводниковые лазеры на гетеропереходах.

Оптические волноводы. Принципы каналирования излучения. Волоконные, планарные и канальные волноводы. Интегрально-оптические элементы.

Способы управления оптическим излучением. Электрооптические эффекты, фотоупругий эффект, магнитооптический эффект. Преобразование частоты оптического излучения в волноводных структурах.

Пьезоэффект. Основные принципы акустоэлектроники. Принцип работы пьезоэлектрических резонаторов и монолитных пьезоэлектрических фильтров.

Фотоэлектронные приборы, фотоприемники и солнечные батареи. Полупроводниковые фотоприемники, полупроводниковые датчики, сенсорные устройства и преобразователи.

Квантово-размерные эффекты в полупроводниковых и диэлектрических нанокристаллах, их влияние на оптические свойства (люминесценция, поглощение, фононные спектры, двулучепреломление). Оптоэлектронные приборы на основе наноструктурированных полупроводников (квантовые точки и нити). Фотонные кристаллы.

Элементы микросистемной техники. Виды преобразователей: пьезоэлектрические, тензорезистивные, емкостные. Микромеханические приводы движения: пьезоэлектрические, емкостные, термомеханические, электромагнитные, пневматические актюаторы.

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. Равновесная и неравновесная кристаллизация. Коэффициент распределения примесей. Молекулярно-лучевая эпитаксия.

Структуры для СВЧ- транзисторов, диодов Ганна и Шоттки.

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. Отжиг рекристаллизации ионно-имплантированных структур. Дефекты в ионно-имплантированных структурах КНИ. Формирование КНИ-структур методом окисления пористого кремния. Технология получения гетерослоев кремния на сапфире.

Структуры полупроводник-диэлектрик. Методы получения и основные электрофизические свойства структур диэлектрик-германий. Технология получения структур электрохимическим окислением. Электрофизические свойства структур. Структуры диэлектрик-арсенид галлия. Методы получения и электрофизические свойства.

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

Процессы толсто пленочной технологии. Получение полупроводниковых резисторов.

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.

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

Электронно-лучевые трубки, светоизлучающие диоды, электролюминесцентные, газоразрядные индикаторы и др. Пассивные индикаторы. Жидкокристаллические, электрохромные индикаторы. Жидкокристаллические материалы. Основные электрооптические эффекты в жидких кристаллах.

Нанотехнология. Современные технологические методы формирования наноструктур. Процессы самоорганизации и самоформирования в технологии наноструктур.

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. Методы определения профиля распределения легирующих примесей. Измерение электрофизических параметров структур диэлектрик-полупроводник методом вольтфарадных характеристик.

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

Исследование строения поверхностных слоев монокристаллов. Методы просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии.

Оптические методы металлографических исследований. Наблюдение объектов в поляризованном свете. Наблюдение микродефектов поверхности эпитаксиальных слоев. Принципы двухлучевой интерферометрии. Выявление дислокаций методом травления.

Методы определения химического состава. Химические методы анализа: экстракция, хроматография, полярография, потенциометрия. Объемный анализ. Гравиметрия. Спектральный анализ. Молекулярная спектроскопия. Ядерный парамагнитный резонанс. Оже-спектроскопия, рентгено-флуоресцентный анализ, вторично-ионная масс-спектроскопия.

Методы определения деформаций в структурах микроэлектроники. Полярография. Определение деформаций по прогибу пластин.

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

Технология и оборудование производства изделий электронной техники

Современные тенденции развития технологии СБИС и УБИС. Нанотехнология. Методы проектирования технологического оборудования для получения субмикронных и наноразмерных структур. Системный подход к выбору оптимальных технических решений методами моделирования.

Особенности проектирования многомодульного (кластерного) оборудования. Системы контроля и управления процессами обработки в технологическом оборудовании нанесения и травления материалов.

Общие принципы автоматизации оборудования. Автоматические линии в производстве изделий электронной техники (ИЭТ). Методы определения оптимальных

параметров линий и комплексов в производстве ИЭТ. Общие сведения об управлении технологическими процессами а оборудованием.

Системный подход к организации современного полупроводникового производства и разработке ТО. Математическое моделирование и системы автоматизации проектирования (САПР) как основа создания высокоэффективных технических систем. Методы математического моделирования объектов различных иерархических уровней.

Методология проектирования технических систем. Основные ее. Формализация основных процедур проектирования. Оптимальное проектирование технических систем.

Обеспечение и поддержание в чистых помещениях среды с заданными параметрами. Проблема привносимой дефектности при производстве СБИС. Экологические аспекты субмикронной и нанотехнологии. Принципы организации чистых производственных помещений. Кластерный принцип организации полупроводникового производства.

Образование и распространение аэрозольных частиц в технологических объемах микроэлектроники. Механизм разрушения трущихся поверхностей. Перенос и диффузия аэрозольных частиц в среде. Моделирование теплопереноса в чистых объемах микроэлектроники. Физико - химические основы осаждения и удержания аэрозольных частиц на поверхности полупроводниковых пластин.

Способы формирования электронных потоков различной интенсивности (электронные пушки), транспортировка электронного потока и способы ограничения его поперечных размеров. Системы регулирования параметров пучка. Управление электронными потоками. Примеры использования в приборах вакуумной электроники и технологическом оборудовании.

Преобразование энергии электронного потока в другие виды энергии: способы, основанные на взаимодействии с внешними электромагнитными полями, эффекты взаимодействия (катодолюминисценция, рентгеновское излучение, нагрев).

Методы очистки исходных материалов и структур; оборудование, применяемое для очистки.

Технология и оборудование для выращивания монокристаллов. Особенности выращивания из расплава элементарных полупроводников. Оптимизация равномерного распределения легирующих примесей в монокристаллах. Технология и оборудование получения полупроводникового кремния и германия. Выращивание монокристаллов германия и кремния с совершенной структурой. Методы контроля и стабилизации параметров процесса выращивания монокристаллов.

Технология и оборудование для получения тонких пленок в вакууме: вакуум-термическое испарение, электронно-лучевое испарения, высокочастотное распыление диэлектриков, ПТ и ВЧ магнетронное распыление, реактивное ионное распыление, Осаждение пленок в плазме из парогазовых смесей. Методы и оборудование осаждения пленок сложного состава, реактивное распыление материалов.

Технология и оборудование для получения эпитаксиальных слоев. Принципиальные схемы проведения эпитаксиальных процессов. Эпитаксия при пониженных давлениях, молекулярно - лучевая эпитаксия. Методы контроля и стабилизации параметров эпитаксиальных процессов. Моделирование работы эпитаксиального оборудования.

Технология и оборудование для создания p-n переходов. Методы получения p-n переходов, гетеропереходов и переходов металл-полупроводник. Диффузионные методы легирования. Ионное легирование (имплантация). Оборудование для процессов ионной имплантации.

Основы технологии контактной, дуговой, холодной сварки и пайки. Методы контроля герметичности. Пластмассовая герметизация полупроводниковых приборов, ИМС. Методы пассивации и защиты полупроводниковых приборов и ИМС. Технология пластмассовой герметизации ИЭТ.

Термохимическое оборудование в производстве электровакуумных в полупроводниковых приборов.

Требования процессов диффузии, окисления и осаждения из паро-газовых смесей к ТО. Особенности конструкций компонентов: термопечей, элементов газо-вакуумных систем, устройств утилизации продуктов реакций и др. Основы инженерного расчета газовых систем.

Методы и оборудование травления микроструктур: ионное, реактивное ионное и плазмохимическое с использованием постоянного тока, ВЧ и СВЧ разрядов.

Технология и оборудование электрофизических и электрохимических методов обработки. Ультразвуковое оборудование для очистки поверхности и обработки хрупких материалов. Оборудование для обработки лучом лазера. Технология электрохимической обработки.

Основы проектирования и расчета элементов газовых систем. Элементы, используемые в газовых системах термических установок. Конструкционные материалы газовых систем. Основы инженерного расчета газовых систем.

Контрольно-измерительное и испытательное оборудование. Принципы автоматизации технологических процессов измерения и контроля.

Аналитическое вакуумное оборудование. Методы получения высокого вакуума. Вторично-ионные масс-спектрометры, Оже-спектрометры, оборудование, использующее рентгеновское и лазерное излучение.

Литографические процессы в производстве полупроводниковых приборов. Анализ точности литографического процесса и определение требований к ТО. Анализ предельных возможностей процессов и ТО литографии, основанных на применении ультрафиолетового, лазерного и рентгеновского излучений, электронных и ионных пучков. Схемы процессов формирования изображений на пластинах в производстве интегральных микросхем.

Оборудование оптической литографии (установки совмещения и экспонирования). Влияние дифракции и аберраций оптических систем на качество изображения. Методы машинного расчета влияния аберраций. Системы совмещения при литографии и экспонировании.

Электронная литография. Классификация и принципиальные схемы электронно-лучевых и проекционных установок электронной литографии. Влияние различных факторов на качество изображения: аберраций, рассеяния электронов, и т.д. Конструкции, методы проектирования основных узлов ТО электронной литографии: систем формирования, переноса и отклонения пучков, систем совмещения.

Основные проблемы создания и внедрения рентгеновского литографического оборудования. Состав рентгенолитографической установки, расчет и моделирование процесса экспонирования. Источники рентгеновского излучения, шаблоны для рентгенолитографии.

Ионно-лучевая литография (ИЛЛ). Направления развития ТО ИЛЛ и особенности создания систем экспонирования коллимированным ионным пучком (ИП). Конструкции, сравнительные характеристики основных узлов и систем ТО ИЛЛ: ионных источников, отклоняющих и сканирующих систем, систем ускорения и фокусировки.

Основные виды контрольно-измерительных операций на различных стадиях изготовления полупроводниковых приборов и шаблонов. Контролируемые параметры, методы и приборы неразрушающего контроля.

Технологические микросистемы. Компоненты технологических микросистем: микроклапаны, микронасосы, микродозаторы, микросмесители, микросепараторы. Микро- и наноинструмент: микроножи, микросверла, микрозонды. Минифабрика, как технологическая микросистема.

Список литературы

1. Пригожин И.Р. Химическая термодинамика. - М., Бином. Лаб. знаний, 2009 г.
2. Чистяков Ю.Д., Райнова Ю.П., Физико-химические основы технологии микроэлектроники - М., Бином. Лаб. знаний, 2010 г.
3. Сорокин И.Н. Акуленок М.В. Технология электронных компонентов. - М., МИЭТ, 1999.
4. Воротынцев В.М., Скупов В.Д. Базовые технологии микро- и наноэлектроники. Учебное пособие. - М., Проспект, 2017.
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, 2008.
7. Айвазов А.А., Будагян Б.Г., Вихров С.П., Попов А.И., Неупорядоченные полупроводники. - М: Высшая школа, 1994 г.
8. Дикарева Р.П., Бялик А.Д., Романова Т.С. Материалы электронной техники. Полупроводники. Проводниковые материалы. Магнитные материалы. - М., ЛитРес, 2017.
9. Будагян Б.Г., Шерченков А.А., Материалы твердотельной электроники. - М., МИЭТ, 1999.
10. Гусев А.И., Ремпель А.А., Нанокристаллические материалы. - М., Физматлит, 2001.
11. Белоус А.И., Емельянов В.А. Основы технологии микромонтажа интегральных схем. / под ред. Д.А. Мовчан. - М.: ДМК-Пресс, 2013.
12. Рабаи Ж.М., Чандракасан А., Николич Б. Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования. / Пер. с англ. и ред. А.В. Назаренко – М.: И.Д. Вильямс, 2016.
13. Королёв М.А., Крупкина Т.Ю., Ревелева М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем, в 2 частях. – М.: Просвещение/Бином, 2015.
14. Дьяконов В.П., Афонский А.А. Электронные измерения в нанотехнологиях и микроэлектронике. – М.: ДМК Пресс, 2011.
15. Величко А.А., Филимонова Н.И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур, в 2 частях. – Н.: НГТУ, 2014.
16. Броудай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии. - М., Мир, 1985.
17. Красников Г.Я., Зайцев Н.А., Система кремний-диоксид кремния в субмикронных СБИС. - М., Техносила, 2003.
18. Красников Г.Я., Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП-транзисторов. - М., Техносфера, 2011.
19. Данилин Б.С. Применение низкотемпературной плазмы для нанесения тонких пленок. - М., Энергоатомиздат, 1989.

20. Технологии субмикронных структур микроэлектроники. / Под ред. акад. НАН Беларуси А.П. Достанко. – Минск.: Беларуская навука, 2018.
21. Данилин Б.С., Киреев В.Ю. Применение низкотемпературной плазмы для травления и очистки материалов. - М., Энергоатомиздат, 1987.
22. Драгунов В.П., Неизвестный И.Г., Гридчин В.А. Нанoeлектроника в 2 частях. – М.: Юрайт, 2017.
23. Ганенков Н.А., Закржевский В.И., Пчелко Н.С., Теория и расчет электромеханических преобразователей на активных диэлектриках. - РИО ЭТУ, 1995.
24. Пчелко Н. С. Физика. Специальные разделы: техническое использование электростатики : учебное пособие для вузов. – М.: Юрайт, 2021.
25. Павлов П.В., Хохлов А.Ф., Физика твердого тела. - М., Высшая школа, 2000.
26. Василевский А.С. Физика твердого тела. – М.: Дрофа, 2010.
27. Гуртов В.А., Осауленко Р.Н. Физика твердого тела для инженеров: учебное пособие. – М.: Техносфера, 2012.
28. Кардона М., Основы физики полупроводников. - М., Физматлит, 2002.
29. Зегря Г.Г., Перель В.И. Основы физики полупроводников: учебное пособие. М.: Физматлит, 2009.
30. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. - М., Наука, 1987.
31. Пихтин А.Н. Оптическая и квантовая электроника. - М.: ОЛМА Медиа Групп, 2012.
32. Кухаркин Е.С., Электрофизика информационных систем. - М. Высшая школа, 2001.
33. Введение в микромеханику. / Под ред. М. Онами. - М. Металлургия, 1987.
34. Лурье С.А., Дудченко А.А. Введение в механику нанокomпозитов. – М.: МАИ-ПРИНТ, 2010.
35. Рычина Т.А., Зеленский А.В., Устройства функциональной электроники и электрорадиоматериалы. - М., Радио и связь, 1989.
36. Игумнов В.Н. Физические основы микроэлектроники. Учебное пособие. – М.: Директ-Медиа, 2014
37. Щука А.А. Электроника в 4 частях. / Под ред. А.С. Сигова. – М.: Юрайт, 2016.
38. Красников Г.Я., Зайцев Н.А. Физико-технологические основы обеспечения качества СБИС. - М., Микрон-принт, 1999, ч. 1.
39. 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.
40. 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.

41. Редин В.М. Образование и распространение аэрозолей в технологических объемах микроэлектроники. - М., МИЭТ, 1992.
42. Редин В.М., Минкин М.Л. Исследование физических процессов загрязнения поверхности полупроводниковых пластин в чистых производственных помещениях микроэлектроники. - М., МИЭТ, 1992.
43. Гребенкин В.З., Николаевский Е.В., Редин В.М. Элементы динамики и триботехники механизмов полупроводникового производства. - М., МИЭТ, 1991.
44. Федотов А.Е. Чистые помещения. - М.: АСИНКОМ, 2021.
45. Норенков И.П. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем. Современные методы исследования материалов и нанотехнологий. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2013.
46. Иванов В.В. Эвристические модели в машиностроении: монография. М.: АО БАХВА, 2014.
47. Быков В.П. Методическое обеспечение САПР в машиностроении. - Л., Машиностроение, 1989.
48. Гирфанова Л.Р. Системы автоматизированного проектирования изделий и процессов: Учебное пособие. – Уфа.: УГУЭиС, 2014.
49. Сырчин В.К. САПР и моделирование технических систем. - М., МИЭТ, 1997.
50. Калинина И.С. Расчет и конструирование чистых производственных помещений. - М., МИЭТ, 1998.
51. Инновационные технологии и оборудование субмикронной электроники. / Под ред. А.П. Достанко. – Минск: Издательский дом «Белорусская наука», 2020.
52. Ануфриенко В.В. Процессы и оборудование фотолитографической обработки. - М., МИЭТ, 1998.
53. Симонов Б.М., Заводян А.В., Грушевский А.М., Конструкторско-технологические аспекты разработки ИС и микросборок. - М., МИЭТ, 1998.