

2Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
**Белорусский государственный университет информатики и  
радиоэлектроники**

  
**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по научной работе  
**В.Р. Стемпницкий**  
\_\_\_\_\_ 2023 г.

## **ПРОГРАММА**

вступительного экзамена по специальности 05.27.06  
«Технология и оборудование для производства полупроводников,  
материалов и приборов электронной техники»

**Минск, 2023**

Составитель программы:

Ланин Владимир Леонидович, д.т.н., профессор, профессор кафедры  
электронной техники и технологии

Рассмотрена на заседании кафедры ЭТТ

«15» мая 2023 г. (протокол № 18)

Заведующий кафедрой ЭТТ



С.И. Мадвейко

Одобрена Советом факультета компьютерного проектирования

«22» мая 2023 г. (протокол № 9)

Председатель Совета ФКП



Д.В. Лихачевский

## Введение

Настоящая программа вступительного экзамена в аспирантуру по специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников материалов и приборов электронной техники» разработана в соответствии с паспортом специальности 05.27.06 - «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники», утвержденным приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь № 313 от 12. 12. 2016 г., и отражает современное состояние в области создания новых материалов, разработки технологии и совершенствования существующих видов технологического оборудования для производства полупроводников, материалов, приборов и компонентов электронной техники, в том числе прикладные аспекты, и включает ее важнейшие разделы, знание которых необходимо высококвалифицированному специалисту, выполняющему в рамках подготовки диссертации научно-исследовательскую работу, содержащую новое решение актуальной научной задачи.

Экзаменуемый по специальности должен продемонстрировать высокий уровень теоретической и экспериментальной подготовки, знание общих физических концепций, методологических основ, истории возникновения и развития данной специальности, глубокое понимание основных разделов науки и техники по специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники».

Экзаменуемый также должен показать умение применять свои знания для решения исследовательских и прикладных задач, проведения необходимых инженерно-технических расчетов и оптимизации конструкции и технологии создания новых материалов и приборов электронной техники.

В основу программы положены следующие вузовские дисциплины: «Физико-химические основы микро- и нанoeлектроники», «Технология деталей радиоэлектронных средств», «Технология программно-управляемых электронных средств», «Материаловедение», «Проектирование и производство изделий интегральной электроники», «Интегрированные автоматизированные технологические комплексы», «Программно-управляемое технологическое оборудование», «Конструирование и технология электронных устройств», «Физико-технические основы разработки технологических модулей электронно-оптического оборудования», «Технологические комплексы для производства элементной базы оптико-электронной техники», «Технология и применение наноматериалов и наноструктур», «Электронно-ионно-плазменные технологии в производстве материалов и приборов электронной техники», «Специальные материалы электронной техники», «Технологические процессы электронных приборов 3D интеграции», «Технологические системы для электрофизических процессов формирования структур приборов электронной техники» и др.



## Содержание программы

### 1. Физические основы электронной техники

Структура твердых тел. Кристаллическая решетка. Дефекты кристаллов. Упругая кристаллическая деформация. Дислокационный механизм пластического течения. Теоретическая, реальная и длительная прочность; ползучесть. Деформационные и прочностные свойства полимеров. Сухое и граничное трение; трение в вакууме. Физические основы диффузии в твердых телах.

Термодинамические условия фазового равновесия. Фазовые переходы 1-го и 2-го рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса и его применение к фазовым переходам 1-го рода. Закон распределения Нернста-Шилова, коэффициент распределения.

Комплексный физико-химический анализ и его основные принципы. Правило фаз Гиббса. Диаграммы состояния однокомпонентных систем. Термический анализ. Основные виды диаграмм состояния бинарных систем. Диаграммы состояния полупроводниковых систем и особенности их построения. Р-Т-х-диаграммы состояния полупроводниковых систем.

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. Безэлектродные разряды. Плазма и ее свойства. Элементарные процессы в плазме и на пограничных поверхностях.

Электролиз и электрохимические процессы. Физические и кинетические процессы на электродах и в растворе. Поляризация, поляризуемость, рассеивающая способность. Стадии электрохимического процесса. Законы Фарадея. Коррозия металлов. Виды коррозии и способы защиты от коррозии. Применение периодических токов в гальванотехнике. Наложение магнитных полей, лазерного излучения на процесс электролиза.

Электрические свойства металлов, диэлектриков и полупроводников. Распределение Ферми-Дирака. Электропроводность металлов, полупроводников и диэлектриков и их физическая природа. Собственные и примесные полупроводники. Фотопроводимость полупроводников. Люминесценция. Излучательная рекомбинация. Когерентное излучение. Поверхностные состояния в полупроводниках; слои обогащения, инверсии и обеднения. МДП-структуры.

Свойства p-n перехода. Невыпрямляющие контакты, контакты Шоттки. Работа выхода. Эмиссия электронов. ТермоЭДС. Эффект Пельтье. Эффект Холла.

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

Магнитные свойства пара- и ферромагнетиков. Ферриты. Магнитные пленки. Цилиндрические магнитные домены.

Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях; траектория движения частиц в комбинированных полях.

Физические основы работы основных типов полупроводниковых приборов: диодов, биполярных и полевых транзисторов, тиристоров, структур IGBT, диодов Ганна, фотоэлектронных приборов, светодиодов и твердотельных лазеров.

Электривакуумные и газоразрядные приборы: приемно-усилительные лампы, приборы СВЧ, фотоумножители, лучевые приборы, электронно-оптические преобразователи, газоразрядные приборы, газовые лазеры.

## 2. Материалы электронной техники и технологии их получения

Общая классификация материалов по составу, свойствам и назначению. Физическая природа электропроводности металлов, сплавов, полупроводников, диэлектриков и композиционных материалов.

Современные методы выращивания монокристаллов элементарных полупроводников. Принципы выращивания структурно-совершенных монокристаллов. Микродефекты в монокристаллах кремния. Механическая, химико-механическая, химическая обработка и очистка поверхности полупроводников.

Полупроводниковые соединения  $A^{III}B^V$ . Физико-химические, электрофизические и оптические свойства. Синтез и выращивание объемных монокристаллов соединений  $A^{III}B^V$  в связи с P-T-X диаграммами. Методы кристаллизации и легирования. Тройные диаграммы состояния  $A^{III}B^V$  – примесь. Компенсация и получение поляризующих кристаллов..

Получение широкозонных материалов – нитриды галлия, алюминия, бора. Эпитаксия арсенида галлия, фосфида галлия, арсенида индия, антимонида индия и твердых растворов. Применение соединений  $A^{III}B^V$  в СВЧ-технике, оптоэлектронике, квантовой электронике.

Полупроводниковые соединения  $A^{II}B^{VI}$  и  $A^{IV}B^{VI}$ . 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



ИС, трехмерных структур, структур «кремний на изоляторе», изоляции электродов газоразрядных индикаторных панелей, элементов интегральной оптики и акустоэлектроники.

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

### **3. Технология и оборудование для производства приборов электронной техники**

Тенденция развития технологии и оборудования электронной техники - интеграция и автоматизация технологических процессов, групповая обработка.

Проблемы комплексной автоматизации производства на современном уровне. Техничко-экономический анализ технологического и производственного процесса. Общие принципы автоматизации оборудования. Автоматические линии в производстве ИЭТ. Методы определения оптимальных параметров линий и комплексов в производстве ИЭТ. Общие сведения об управлении технологическими процессами и оборудованием. ЭВМ и информационно-управляющие комплексы. Гибкие автоматизированные системы управления технологическими процессами и производством. Компьютерные интегрированные производства.

Методы очистки исходных материалов и структур; оборудование, применяемое при очистке. Технологии ультразвуковой и плазменной очистки материалов.

Методы формообразования деталей ИЭТ и обработки поверхности. Формирование термопластов, литье, порошковая металлургия. Обработка резанием, абразивная обработка хрупких материалов.

Химическая обработка и подготовка поверхности.

Методы вакуумной плазменной обработки материалов.

Лазерная обработка.

Методы и оборудование для выращивания монокристаллов.

Методы получения плёночных покрытий: осаждение в вакууме, химическое, термохимическое и электролитическое осаждение и плазменное нанесение покрытий. Авто- и гетероэпитаксиальное наращивание. Молекулярная эпитаксия. Термохимическое выращивание диэлектрических покрытий. Оборудование, применяемое для получения покрытий. Свойства тонкоплёночных покрытий.

Методы получения р-п переходов, гетеропереходов и переходов металл-полупроводник. Диффузионные методы легирования. Ионное легирование /имплантация/. Отжиг ионнолегированных слоев. Оборудование для создания р-п переходов.

Физические основы и техника фотолитографии. Фотошаблоны. Электронная, ионная и рентгеновская литография. Оборудование для процессов литографии.

Методы создания контактов в приборах электронной техники: термокомпрессионный, УЗ-сваркой, лучом ОКГ, электронным лучом. Оборудование для создания контактов.

Основы технологии контактной, дуговой и холодной сварки, а также пайки. Методы получения вакуумноплотных соединений. Клеевые соединения. Методы контроля герметичности. Оборудование для создания межсоединений и герметизации готовых приборов. Пластмассовая герметизация полупроводниковых приборов, ИМС. Методы пассивации и защиты полупроводниковых приборов и ИМС. Технология и оборудование для пластмассовой герметизации ИЭТ.

Технология и оборудование для изготовления печатных плат. Технология и оборудование для сборки и монтажа электронных модулей, включая поверхностный монтаж.

Методы и технология откачки и газозаполнения электровакуумных и газоразрядных приборов. Откачка удалением и связыванием. Криогенная откачка. Вакуумное технологическое оборудование для формирования остаточной вакуумной среды в электронных приборах.

Моделирование физико-химических процессов в технологии производства ИЭТ. Моделирование, расчет и проектирование технологического оборудования для производства ИЭТ: методы анализа и синтеза оборудования и его узлов.

Оборудование физико-химических методов обработки:

- механической обработки пластичных и хрупких материалов, стеклянных и керамических деталей;
- прецизионное электроэрозионное оборудование для обработки деталей электронных приборов;
- УЗ оборудование для очистки поверхности и обработки хрупких материалов;
- электронно-лучевые и ионно-лучевые, магнетронные, термоионные и ВЧ распылительные устройства для получения тонких пленок;
- ионные, ионно-плазменные, ВЧ и СВЧ-плазмохимические устройства для обработки материалов;
- оборудование для обработки лучом лазера;
- оборудование для электрохимической обработки;
- термическое оборудование;
- оборудование для изготовления и контроля оригиналов топологии твердотельных структур, оборудование для фотолитографии, в том числе преобразователей линейных и угловых перемещений;



- оборудование для разделения полупроводниковых пластин, микромонтажа кристаллов и герметизации интегральных микросхем;
- прецизионное оборудование для сборки ИЭТ; системы ориентации, позиционирования, подачи деталей в зону сборки и соединения деталей;
- контрольно-измерительное оборудование; системы технического зрения;
- испытательное оборудование.

## Рекомендуемая литература

### Основная

1. Викулин, И.М. Физика полупроводниковых приборов /И.М. Викулин, В.И. Стафеев. – М.: Радио и связь, 1990.–264 с.
2. Гуртов, В.А. Физика твердого тела для инженеров: учебное пособие / В.А. Гуртов, Р.Н. Осауленко. – М.: Техносфера, 2012. – 560 с.
3. Арзамасов, Б.Н. Материаловедение / Б.Н. Арзамасов, В.И. Макарова, Г.Г. Мухин. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.– 646 с.
4. Пасынков, В.В., Сорокин В.О. Материалы электронной техники / В.В. Пасынков, В.О. Сорокин. – М.: Лань, 2005.– 368 с.
5. Плазменные процессы в производстве изделий электронной техники / В 3-х томах. Под ред. А.П. Достанко. – Минск: ФУ Аинформ., 2000– 2001. –424 с.
6. Черняев В.Н. Физико-химические процессы в технологиях РЭА. – М.: Высшая школа, 1987.
7. Галперин, В.А. Процессы плазменного травления в микро- и нанотехнологиях: учебное пособие / В.А. Галперин, Е.В. Данилкин, А.И. Мочалов; под ред. С.П. Тимошенко. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 286 с.
8. Гусев, А.И. Нанокристаллические материалы / А.И. Гусев, А.А. Ремпель – М.: Физматлит, 2001. – 224 с.
9. Андриевский, Р.А. Наноструктурные материалы: учеб. пособие / Р.А. Андриевский, А.В. Рагуля. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 192 с.
10. Медведев А.М. Сборка и монтаж электронной аппаратуры. – М.: Техносфера, 2005. – 256 с.
11. Ланин, В.Л. Технология производства электронных средств: учебное пособие / В.Л. Ланин, А.А. Хмыль. – Минск: Выш. школа, 2019. – 455 с.
12. Технология изделий интегральной электроники / Под ред. А.П. Достанко и Л.И. Гурского. – Минск: Амалфея, 2010. – 536 с.
13. Волков Ю.С. Электрофизические и электрохимические процессы обработки материалов: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. –396 с.
14. Ланин, В.Л. Технология и оборудование сборки и монтажа электронных средств / В.Л. Ланин, В.А. Емельянов, И.Б. Петухов. – Минск: Беларуская навука, 2022. – 512 с.



### Дополнительная

15. Щука, А.А. Нанoeлектроника; учебное пособие / А.А. Щука. – М.: Физматкнига, 2007. –464 с.
16. Вакс, Е.Д. Практика прецизионной лазерной обработки / У.Д. Вакс, М.Н. Миленький, Л.Г. Сапрыкин. – М.: Техносфера, 2013. – 696 с.
17. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники / В 2-х томах. Под ред. А.П. Достанко. – Минск: Бестпринт, 2002–2003.– 404 с.
18. Ланин, В.Л. Формирование токопроводящих контактных соединений в изделиях электроники / В.Л. Ланин, А.П. Достанко, Е.В. Телеш. – Минск: Издательский Центр БГУ, 2007. – 574 с.
19. Технология субмикронных структур микроэлектроники / А.П. Достанко [и др.]; под ред. А.П. Достанко. – Минск: Беларуская навука, 2018. –270 с.
20. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры / Под ред. В.А. Шахнова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.–528 с.
21. Кундас, С.П. Компьютерное моделирование технологических систем: учебное пособие / С.П. Кундас, Т.А. Кашко. – Минск: БГУИР, 2001. – 164 с.
22. Кормилицын, О.П. Механика материалов и структур нано- и микротехники: учеб. пособие / О.П. Кормилицын, Ю.А. Шукейло. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 224 с.
23. Автоматизация технологического оборудования микроэлектроники / Под ред. А.А. Сазонова. – М.: Высшая школа, 1991. – 333 с.
24. Подураев, А.В. Мехатроника: основы, методы, применение: учебное пособие / А.В. Подураев. – М: Машиностроение, 2006. – 261 с.
25. Электрофизические процессы и оборудование в технологии микро- и наноэлектроники / Под ред. А.П. Достанко и А.М. Русецкого. – Минск: Бестпринт, 2011. –216 с.
26. Киселев, М.Г. Электрофизические и электрохимические способы обработки материалов: учеб. пособие / М.Г. Киселев, Ж.А. Мрочек, А.В. Дроздов. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2014. – 528 с.