

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и
инновациям

Мещеряков Р.В.

2017 г.



ПРОГРАММА
вступительного испытания по
специальной дисциплине

по направлению подготовки
03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

профиль программы
01.04.04 – Физическая электроника

Томск 2017

Программа вступительных испытаний при приеме на обучение по программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре формируется на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета или магистратуры.

В основу программы положены следующие разделы вузовских дисциплин направлений подготовки магистратуры 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника» и 28.04.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»:

- физика конденсированного состояния;
- твердотельная электроника;
- микроэлектроника;
- вакуумная и плазменная электроника;
- наноэлектроника;
- процессы микро- и нанотехнологии;
- конструирование и проектирование интегральных микросхем;
- технология СБИС.

Составитель программы:

Профессор каф. ФЭ

Троян П.Е.

ПРОГРАММА РАССМОТРЕНА И ОДОБРЕНА на заседании кафедры физической электроники « 27 » 04 2017 г., протокол № 82 .

СОГЛАСОВАНО:

Декан

ФЭТ

Воронин А. И.

Зав. кафедрой

ФЭ

Троян П. Е.

Зав. аспирантурой и докторантурой

Коротина Т. Ю.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Программа вступительного испытания по специальности **01.04.04 – Физическая электроника** предназначена для поступающих в аспирантуру в качестве руководящего учебно-методического документа для целенаправленной подготовки к сдаче вступительного испытания.

Программа включает содержание профилирующих учебных дисциплин, входящих в основную образовательную программу высшего образования, по которой осуществляется подготовка студентов, в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта.

Целью программы вступительных испытаний является определение уровня знаний, готовности и возможности поступающего к освоению программы подготовки в аспирантуре, к самостоятельному выполнению научной работы, подготовке и защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук по научной специальности **01.04.04 – Физическая электроника**.

Поступающий в аспирантуру должен продемонстрировать высокий уровень практического и теоретического владения материалом вузовского курса.

2. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

1. ВАКУУМНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

1.1. Вакуум и его свойства. Методы получения и измерения вакуума. Электронная эмиссия: термоэлектронная, фотоэлектронная, вторичная электронная, ионно-электронная, эмиссия горячих электронов, экзотермическая, автоэлектронная, взрывная. Виды источников свободных электронов.

1.2. Движение заряженных частиц: в однородном электрическом поле, в однородном магнитном поле, в скрещенных электрических и магнитных полях.

1.3. Управление электронно-ионными потоками: электростатическая отклоняющая система, основы электронной оптики, магнитные отклоняющие системы.

1.4. Приборы и устройства вакуумной электроники: электронные лампы (диод, триод, тетрод, пентод), приборы СВЧ диапазона (клистрон, ЛБВ, ЛОВ, магнетрон), электронно-лучевые приборы (ЭЛТ, ЭОП, приемные и передающие ЭЛП), фотоэлектронные приборы (фотоэлементы, ФЭУ).

2. ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

2.1. Электрический разряд в газах, виды разрядов. Плазма: физические процессы в плазме, излучение плазмы, диагностика плазмы. Приборы и устройства плазменной электроники, ионитрон, ртутные вентили, приборы отображения информации. Электронно-ионные источники и их применение в технике и технологиях.

3. ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

3.1. Зонная теория твердого тела. Проводники, полупроводники, диэлектрики. Параметры полупроводниковых материалов. Явления на поверхности полупроводников.

4. КОНТАКТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ НА ГРАНИЦЕ МЕТАЛЛ-ПОЛУПРОВОДНИК

4.1. Емкость запирающего слоя Шоттки. Влияние сил изображения и электрического поля на вольтамперные характеристики (ВАХ) диода с барьером Шоттки (эффект Шоттки на границе металл-вакуум и в запирающем слое). ВАХ диода с барьером Шоттки при наличии туннелирования через область пространственного заряда (ОПЗ). Особенности ВАХ

реальных диодов с барьером Шоттки. ВАХ омического контакта. Эквивалентная схема диода с барьером Шоттки.

5. ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЕ ПЕРЕХОДЫ

5.1. Образование p-n перехода, контактная разность потенциалов. Распределение потенциала в ступенчатом и плавном p-n переходе, ширина и емкость ОПЗ.

5.2. Диодная теория выпрямления полупроводникового диода с полуограниченной базой. Влияние сопротивления базы диода и уровня инжекции носителей заряда в базу на вид ВАХ. ВАХ диода при высоком уровне инжекции носителей заряда в дрейфовом приближении. Влияние рекомбинации и генерации носителей в ОПЗ p-n перехода на вид его ВАХ.

5.3. Частотные свойства диода с длинной базой при малом уровне инжекции носителей заряда в базу диода (частотные зависимости активной проводимости и диффузионной емкости). Эквивалентная схема диода.

6. ПРОБОЙ p-n ПЕРЕХОДА

6.1. Тепловой пробой, вид ВАХ и температурная зависимость напряжения пробоя. Лавинный пробой, критерий развития лавинного пробоя, обратная ветвь ВАХ. Зависимость напряжения пробоя от концентрации примеси в базе и от температуры. Туннельный пробой, обратная ветвь ВАХ, зависимость напряжения пробоя от концентрации примесей в p и n областях и от температуры.

7. ГЕТЕРОПЕРЕХОДЫ

7.1. Энергетические диаграммы гетеропереходов. Распределение потенциала в резком p-n гетеропереходе, ширина ОПЗ. Емкость гетеропереходов (резкий анизотипный и изотипный гетеропереходы без учета и с учетом граничных состояний).

7.2. ВАХ гетеропереходов (анизотипные гетеропереходы: инжекционный, рекомбинационный и туннельно-рекомбинационный токи). Идеальный изотипный переход с большой плотностью граничных состояний.

8. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ

8.1. Принцип действия и основные параметры выпрямительных диодов, стабилитронов, импульсных диодов, детекторов СВЧ диапазона, параметрических диодов. Фотодиоды: расчет фототока, квантовая эффективность и быстродействие, шумовые свойства, мощность, эквивалентная шуму, различные типы фотодиодов.

8.2. Фотоэлементы: ВАХ и КПД идеального и реального фотоэлементов, различные типы фотоэлементов. Излучающие диоды: интенсивность и спектр рекомбинационного излучения, квантовая эффективность и КПД, материалы для изготовления излучающих диодов. Инжекционные лазеры: принцип действия, условие преобладания стимулированного излучения фотонов над поглощением, материалы и конструкция. Оптопары: основные характеристики, области применения. Современные тенденции в развитии и использовании оптоэлектронных приборов и устройств. Оптические системы связи.

9. ДИОДЫ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ И ГЕНЕРАЦИИ СВЧ МОЩНОСТИ

9.1. Туннельный диод: общее описание ВАХ, расчет туннельного тока, частотные свойства, критическая и резонансная частота. Лавинно-пролетный диод: механизм усиления переменного сигнала, расчет импедансных характеристик в приближении малого сигнала, мощность и коэффициент полезного действия. Диод Ганна: междолинные переходы электронов, дипольные домены и возможные режимы работы, режим с обогащенным слоем, мощность и КПД.

10. БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

10.1. Принцип действия транзистора в качестве усилителя. Коэффициент передачи тока на низкой частоте в схеме с общей базой (выражения для постоянных токов, коэффициент передачи). Влияние рекомбинационной составляющей тока на величину коэффициента передачи.

10.2. Статические характеристики и коэффициент передачи тока в различных схемах включения (с общей базой, с общим эмиттером, с общим коллектором). Выражения для переменных токов в транзисторе, эквивалентная схема. Частотная зависимость коэффициента передачи в схемах с общей базой и общим эмиттером, предельная частота и частота отсечки.

10.3. Транзистор в качестве линейного четырехполюсника. h и z параметры. Максимальная частота усиления по мощности. Различные типы сверхбыстродействующих биполярных транзисторов. Основные области применения. СБИСы.

11. ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В СТРУКТУРАХ МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК-ПОЛУПРОВОДНИК

11.1. Устройство и энергетические диаграммы идеальных МДП-структур. Распределение концентрации носителей заряда в приповерхностной области полупроводника, напряженность электрического поля и плотность объемного заряда в ОПЗ.

11.2. Дифференциальная емкость ОПЗ и ее зависимость от поверхностного потенциала. Зависимость емкости идеальной МДП-структуры от напряжения на полевом электроде. Зависимость поверхностного потенциала от напряжения на полевом электроде для реальных МДП-структур. Заряд и дифференциальная емкость поверхностных состояний. Вольтфарадные характеристики реальных МДП-структур.

11.3. Определение основных параметров МДП-структур на основе анализа высокочастотных вольтфарадных характеристик. Поверхностные фотоэлектродвижущие силы. Приборы с зарядовой связью, устройство и принцип действия, хранение и перенос заряда, частотные свойства.

12. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

12.1. Принцип действия и статические характеристики полевого транзистора с n -переходом в качестве затвора. Расчет выходных статических характеристик полевого транзистора с n -переходом. Принцип действия и статические характеристики полевого транзистора с изолированным затвором. Расчет выходных статических характеристик МОП-транзистора, эквивалентная схема и частотные свойства. Энергонезависимые элементы памяти на основе МОП- и МНОП-транзисторов. Преимущества и недостатки полевых транзисторов. Различные типы сверхбыстродействующих полевых транзисторов. Основные области их применения. СБИСы.

13. ПРИБОРЫ С ВОЛЬТАМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ N ТИПА

13.1. Инжекционные и лавинные диоды, принцип действия и возможные области применения. Тиристоры: статическая ВАХ с ОДС, ВАХ динистора, находящегося во включенном состоянии, влияние тока через управляющий электрод на прямую ветвь статической ВАХ, области применения. Фототиристоры.

14. ИНЖЕКЦИОННЫЕ ТОКИ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

14.1. Токи, ограниченные пространственным зарядом, в идеальном диэлектрике, в диэлектриках с мелкими и глубокими моноэнергетическими ловушками. ТОПЗ в диэлектриках с квазинепрерывно распределенными по энергии ловушками. Токи при двойной инжекции в диэлектрик и полупроводник, двойная инжекция с захватом, отрицательное дифференциальное сопротивление. Возможные пути использования инжекционных токов.

15. ПРИМЕНЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИКОВ В ЭЛЕКТРОНИКЕ, ОПТО- И АКУСТО-ЭЛЕКТРОНИКЕ, ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОПТИКЕ

15.1. Диэлектрическая изоляция элементов интегральных схем, основные требования к диэлектрическим слоям в МДП-структурах. Пороговые переключатели на основе халькогенидных стекол, диоды на основе оксидных стекол, энергонезависимые элементы памяти на основе халькогенидных и оксидных материалов. Элементы памяти на основе формованных структур металл-диэлектрик-металл.

15.2. Полярные диэлектрики и их применение: электреты, пьезоэлектрики, сегнетоэлектрики, нелинейные диэлектрики. Пьезоэлектрики и их применение в электронике: основные уравнения пьезоэффекта и электрострикции, пьезоэлектрические материалы различного назначения, пьезопреобразователи энергии и электрических сигналов. Электроуправляемый пьезоэффект и микропозиционеры.

15.3. Диэлектрические оптические среды и устройства: классификация диэлектрических оптических сред, классификация нелинейных оптических эффектов, электрооптические эффекты и материалы, объемные электрооптические устройства, пространственно распределенные и интегральные электрооптические устройства, акустооптические эффекты и материалы, объемные и интегральные акустооптические устройства, диэлектрические среды для генерации когерентного излучения, твердые диэлектрические среды для преобразования частоты когерентного излучения. Фоточувствительные МДП-приборы для преобразования изображений.

15.4. Перспективы применения диэлектриков в электронике: тенденции развития технологии активных диэлектриков, коэффициенты качества диэлектрических материалов электронной техники, перспективные материалы по основным видам применений.

16. МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

16.1. Понятия, определения, цели и задачи. Элементная база микроэлектроники: пассивные и активные элементы. Виды интегральных схем. Классификация интегральных схем по различным признакам. Цифровые и аналоговые интегральные схемы. Логические элементы интегральных схем как основы цифровой электроники. Операционный усилитель как основной элемент аналоговой схемотехники. Триггеры. Интегральные схемы на полевых и биполярных транзисторах. Интегральные схемы СВЧ диапазона на основе арсенида галлия. Представление о нанoeлектронике.

17. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

17.1. Акустоэлектроника, диэлектрическая электроника, ПЗС-приборы, магнитоэлектроника, оптоэлектроника, биоэлектроника.

3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

Вступительные испытания проводятся в тестовой форме (20 вопросов по 5 баллов каждый). Продолжительность проведения письменного экзамена – не более 60 минут.

Уровень знаний поступающего оценивается по 100 балльной шкале. Минимальный балл, подтверждающий успешной прохождения вступительного испытания, равен 45.

Протокол приёма вступительного экзамена подписывается членами комиссии с указанием их ученой степени, учёного звания, занимаемой должности.

Протокол заседания экзаменационной комиссии после утверждения ректором (проректором по научной работе) ТУСУРа хранятся в отделе аспирантуры и докторантуры.

Во время проведения вступительных испытаний их участникам и лицам, привлекаемым к их проведению, запрещается иметь при себе и использовать средства связи. Участники вступительных испытаний могут иметь при себе и использовать справочные материалы и электронно-вычислительную технику.

4. ОБРАЗЕЦ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА ДЛЯ СДАЧИ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

При нарушении поступающим во время проведения вступительных испытаний правил приема, утвержденных организацией, уполномоченные должностные лица организации вправе удалить его с места проведения вступительного испытания с составлением акта об удалении.

Вариант 0

1. Плотность атомов в твердом теле достигает...

- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1. $10^{22}-10^{23} \text{ см}^{-3}$; | 2. $10^{22}-10^{23} \text{ м}^{-3}$; |
| 3. $10^{18}-10^{20} \text{ см}^{-3}$; | 4. $10^{18}-10^{20} \text{ м}^{-3}$. |

2. Теоретически и экспериментально показано, что зоны разрешенных энергий разделены...

1. зонной проводимости;
2. запрещенной зоной;
3. валентной зоной.

3. Запрещенная зона характеризуется шириной запрещенной зоны, которая из зонной диаграммы определяется как...

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. $\Delta E = E_C + E_V$; | 2. $\Delta E = E_C - E_V$; |
| 3. $\Delta E = \frac{E_C + E_V}{2}$; | 4. $\Delta E = \frac{E_C - E_V}{2}$. |

4. Уровень Ферми в собственном полупроводнике смещается...

1. к потолку валентной зоны;
2. к дну зоны проводимости;
3. к середине ширины запрещенной зоны.

5. При образовании на поверхности дырочного полупроводника отрицательного заряда происходит...

1. обогащение поверхности;
2. обеднение поверхности;
3. инверсия поверхностной проводимости (если величина заряда будет слишком большой).

6. Эффект односторонней проводимости диода Шоттки отражен на эквивалентной схеме...

1. омическим сопротивлением базы;
2. дифференциальным сопротивлением;
3. сопротивлением растекания;
4. емкостью плоского конденсатора, одной из обкладок которой является металл, а второй (воображаемой) обкладкой является изменяющаяся граница ОПЗ.

7. Омический контакт представляет собой структуру...

1. металл-металл;
2. металл-полупроводник;
3. полупроводник-полупроводник;

4. металл-диэлектрик.
8. Какое условие должно выполняться, чтобы электроны начали переходить из полупроводника в металл (ϕ_M – работа выхода электронов в вакуум из металла; ϕ_{II} – термодинамическая работа электронов из полупроводника)?
1. $\phi_M < \phi_{II}$.
 2. $\phi_M = \phi_{II}$.
 3. $\phi_M > \phi_{II}$.
9. Типичные значения контактной разности потенциалов для германиевых переходов...
1. 0.1–0.2 В;
 2. 0.2–0.3 В;
 3. 0.3–0.5 В;
 4. 0.5–0.7 В.
10. Явление перехода основных носителей заряда через ОПЗ p - n -перехода в область, где они становятся неосновными, носит название...
1. инжекция неосновных носителей заряда;
 2. инжекция основных носителей заряда;
 3. экстракция неосновных носителей заряда;
 4. экстракция основных носителей заряда.
11. Какой ток возникает из-за загрязнения поверхности полупроводника и может существенно влиять на обратную ветвь ВАХ при достаточно больших обратных напряжениях?
1. ток тепловой генерации;
 2. канальный ток;
 3. ток утечки;
 4. ток насыщения.
12. Полупроводниковый прибор, содержащий один выпрямляющий переход и два вывода, называется...
1. биполярным транзистором;
 2. полупроводниковым диодом;
 3. тиристором;
 4. полевым транзистором.
13. К числу предельных параметров выпрямительных диодов не относится...
1. максимальная мощность;
 2. максимальная рабочая температура;
 3. допустимый прямой ток;
 4. максимальная рабочая частота.
14. Физической основой какого диода является эффект односторонней проводимости электронно-дырочного перехода?
1. импульсного диода;
 2. выпрямительного диода;
 3. СВЧ-диода;
 4. смесительного диода.
15. Усилительные, генераторные и переключательные свойства биполярного транзистора обусловлены явлениями...
1. инжекции неосновных и экстракции основных носителей зарядов;
 2. инжекции основных и экстракции неосновных носителей зарядов;
 3. инжекции и экстракции основных носителей зарядов;
 4. инжекции и экстракции неосновных носителей зарядов.
16. Супербета транзистор – это транзистор, имеющий коэффициент передачи тока базы...
1. $\beta > 100$;
 2. $\beta > 200$;
 3. $\beta > 300$;
 4. $\beta > 400$;

17. По какому закону обратный ток эмиттера зависит от толщины базы?

1. $I_{ЭБ0} \sim \frac{1}{W}$; 2. $I_{ЭБ0} \sim W$; 3. $I_{ЭБ0} \sim \frac{1}{W^2}$; 4. $I_{ЭБ0} \sim W^2$.

18. Область, из которой носители заряда уходят в канал, называется...

1. истоком; 2. стоком; 3. затвором.

19. В транзисторах с управляющим p - n переходом в качестве затвора используется область, тип электропроводности которой...

1. противоположен типу электропроводности истока;
2. противоположен типу электропроводности стока;
3. совпадает с типом электропроводности в канале;
4. противоположен типу электропроводности канала.

20. Дифференциальные параметры полевого транзистора связаны между собой соотношением...

1. $SR_i = \mu$; 2. $\mu R_i = S$; 3. $S\mu = R_i$; 4. $SG_i = \mu$.

5. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

5.1. Основная литература

1. Электроника: Учебное пособие для вузов / А.А. Щука; ред.: А.С. Сигов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 800 с. (3)
2. Твердотельная электроника: Учебное пособие для вузов / В.А. Гуртов. – 2-е изд., доп. – М.: Техносфера, 2005. – 408 с. (57)
3. Процессы микро- и нанотехнологии: учебное пособие для вузов / Т.И. Данилина [и др.]; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. – Томск: ТУСУР, 2005. – 316 с. (103)

5.2. Дополнительная литература

1. Полупроводниковые приборы: учебное пособие / В.В. Насынков, Л.К. Чиркин. – 8-е изд., испр. – СПб.: Лань, 2006. – 480 с. (98)
2. Вакуумная электроника. Физико-технические основы: учебное пособие для вузов / А.Д. Сушков. – СПб.: Лань, 2004. – 464 с. (37)
3. Физико-техническое проектирование биполярных элементов кремниевых БИС: научное издание / А.Н. Бубенников, А.Д. Садовников. – М.: Радио и связь, 1991. – 288 с. (2)
4. Основы микроэлектроники: Учебное пособие для вузов / И.П. Степаненко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 488 с. (212)
5. Основы микроэлектроники / Н.А. Аваев, Ю.Е. Наумов, В.Г. Фролкин. – М.: Радио и связь, 1991. – 288 с. (41)
6. Физика твёрдого тела. Под редакцией Верещагина И.К. – М.: Высшая школа, 2001. – 238 с. (14)
7. Павлов П.В. Физика твёрдого тела: Учебник для вузов / П.В. Павлов, А.Ф. Хохлов. – 3-е изд., стереотип. – М.: Высшая школа, 2000. – 496 с. (60)

5.3. Периодические издания

1. Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники
2. Известия высших учебных заведений. Физика

3. Известия высших учебных заведений. Электроника
4. Микроэлектроника
5. Российские нанотехнологии
6. Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы
7. Электроника
8. Общие вопросы физики и физического эксперимента

5.4. Перечень Интернет-ресурсов

1. Образовательный портал в свободном доступе: «Физика, химия, математика студентам и школьникам. Образовательный проект А.Н. Варгина» – Режим доступа: <http://www.ph4s.ru/>
2. «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]: информационная система. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/>
3. «eLIBRARY.RU» [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – Режим доступа: <http://elibrary.ru>
4. «Научно-образовательный портал ТУСУР» [Электронный ресурс]: научно-образовательный портал университета. – Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/>