

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
01.04.10 – Физика полупроводников

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;
- физика полупроводников;
- твердотельная электроника;
- физико-химия наноструктурированных материалов;
- методы исследования и анализа микро- и наноструктур.

Составители программы:

Доцент каф. ФЭ		Саврук Е. В.
Профессор каф. ФЭ		Смирнов С. В.
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 **01.04.10 – Физика полупроводников** 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 **01.04.10 – Физика полупроводников**.

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

2. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

1.1. Полупроводники и их роль в науке и технике. Общие свойства полупроводников. Элементарные сведения о зонной структуре, носителях тока (электронах и дырках), акцепторных, донорных и других типов примесей в полупроводниках и связанных с ними локальных уровней.

1.2. Кинетические свойства носителей тока в полупроводниках. Связь между энергией и импульсом (дисперсные соотношения), эффективная масса носителей тока, лёгкие и тяжёлые электроны и дырки.

1.3. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Плотности состояний носителей тока. Распределения носителей тока по энергиям (распределение Максвелла, Больцмана, Ферми-Дирака). Эффективное число состояний носителей тока. Расчёт уровня Ферми в полупроводниках, в том числе и в случае вырождения.

1.4. Электропроводность полупроводников. Дрейф и диффузия носителей тока. Связь между коэффициентом диффузии и подвижностью. Уравнения переноса носителей тока.

1.5. Методы определения удельного сопротивления полупроводников (4-х зонд, Ван-дер-Пау и др.) подвижности и концентрации носителей тока (Холл и др.), глубины залегания локальных уровней.

1.6. Статистика рекомбинаций носителей тока в полупроводниках. Типы рекомбинаций. Рекомбинационные центры. Расчёт времени жизни носителей тока по модели Шокли-Рида. Методы определения времени жизни.

1.7. Термоэлектрические эффекты (Зеебека, Пельтье, Томсона). Расчёт постоянной термоэлектродвижущей силы (ЭДС) а для полупроводников. Анализ работы Пельтье-охладителя. Расчёт холодильного коэффициента. Тепловые насосы.

2. ЭЛЕМЕНТЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

2.1. Физика барьера Шоттки (БШ). Зонная структура БШ. Вольтёмкостная характеристики БШ и ее использование для определения распределения доноров (акцепторов) у поверхности вглубь полупроводников. ВАХ БШ. Анализ прямой и обратной ветви ВАХ.

2.2. Физика p-n-перехода. Распределение зарядов и поля в p-n-переходе. Высота барьера, расчёт ёмкости p-n-перехода. ВАХ p-n-перехода. Анализ прямой и обратной ветви ВАХ. Плавные (линейные) p-n-переходы. P-n-переход как эмиттер электронов (дырок).

2.3. Лавинное умножение носителей тока в p-n-переходах. Расчёт коэффициента умножения. ВАХ лавинно-пролётного диода. Неоднородности p-n-перехода и микроплазмы, связанные с рекомбинацией лавинно-умноженных носителей тока.

2.4. Солнечные элементы (СЭ). Расчёт коэффициента собирания носителей тока, световая и темновая ВАХ СЭ. Анализ ВАХ, расчёт $U_{\text{ох}}$ и $I_{\text{кз}}$, а также коэффициента заполнения ВАХ.

2.5. Туннельные приборы. Анализ ВАХ прямосмещённого туннельного диода. Обращённый диод. Туннельные МОМ и др. диоды.

2.6. Оптоэлектронные явления и приборы. Светодиоды и полупроводниковые лазеры. Фотодетекторы.

2.7. Эффект междолинного перехода электронов (Ганна) и приборы на этом эффекте.

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. Энергия ионизации донорной примеси меньше энергии ионизации атома водорода в...

- 1) ε^1 ; 2) ε^2 ; 3) ε^3 ; 4) ε^4 .

2. Какой тип примеси создает В в кристалле Si?

- 1) акцепторную;
- 2) донорную;
- 3) нейтральную;
- 4) многозарядную.

3. Причиной химического сдвига является отклонение притягивающего потенциала от величины...

- 1) $e^2 / 4\pi\epsilon\epsilon_0 r$;
- 2) $e^2 / \pi\epsilon\epsilon_0 r$;
- 3) $e^2 / \epsilon\epsilon_0 r$;
- 4) $e^2 / \epsilon_0 r$.

4. Чьё имя носит эффект охлаждения контакта двух твердых тел, при протекании через контакт тока?

- 1) Джоуля-Ленца;
- 2) Пельтье;
- 3) Томсона;
- 4) Зеебека.

5. От каких параметров электронного полупроводника зависит α (коэффициент термо-ЭДС)?

- 1) от эффективной плотности состояний в зоне проводимости, концентрации электронов и типа рассеяния;
- 2) от концентрации и подвижности электронов, от температуры;
- 3) от типа рассеяния и температуры;
- 4) от концентрации дырок и их подвижности.

6. Электронная составляющая теплопроводности определяется выражением:

- 1) $\lambda_n = Q_x (dT/dx)^{-1}$;
- 2) $\lambda_n = Q_x (dT/dx)^{-1}$;
- 3) $\lambda_n = -Q_x (dT/dx)$;
- 4) $\lambda_n = Q_x (dT/dx)$.

7. Какие два явления приводят к нарушению закона Ома в твердых телах в сильных электрических полях?

- 1) увеличение концентрации и увеличение дрейфовой скорости носителей;
- 2) уменьшение концентрации и уменьшение дрейфовой скорости носителей;
- 3) уменьшение размеров кристаллов и уменьшение ширины запрещенной зоны;
- 4) изменение типа проводимости и увеличение температуры.

8. Какие эффекты сильного поля приводят к изменению времени свободного пробега носителей заряда?

- 1) эффект Ганна и ударная ионизация;
- 2) ударная ионизация и эффект Зинера;
- 3) эффект Ганна и эффект разогрева электронно-дырочного газа;
- 4) электростатическая ионизация и эффект Зинера.

9. При увеличении напряженности поля наступает пробой в том случае, если...

- 1) генерация компенсируется рекомбинацией;
- 2) генерация не компенсируется рекомбинацией;
- 3) рекомбинация компенсируется генерацией;
- 4) рекомбинация не компенсируется генерацией.

10. Рекомбинация, при которой электрон прежде, чем рекомбинировать с дыркой, захватывается некоторым локальным центром, имеющим уровень энергии в запрещенной зоне, а затем переходит в валентную зону и рекомбинирует с дыркой, называется...

- 1) примесной рекомбинацией;
- 2) рекомбинацией через локальные состояния;
- 3) межпримесной рекомбинацией;

4) экситонной рекомбинацией.

11. В межзонной излучательной рекомбинации могут участвовать...

- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| 1) только фотоны; | 2) только фотоны и электроны; |
| 3) только электроны и дырки; | 4) только фотоны и дырки. |

12. Диффузия избыточных носителей характеризуется...

- 1) биполярным коэффициентом диффузии;
- 2) амбиполярным коэффициентом диффузии;
- 3) коэффициентом самодиффузии;
- 4) кажущимся коэффициентом диффузии.

13. Ограниченность объема кристалла учитывается введением граничных условий...

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| 1) Холла-Шокли-Рида; | 2) Борна-Кармана; |
| 3) Больцмана; | 4) Максвелла-Больцмана. |

14. Релаксации в целом объясняется наличием...

- 1) только быстрых поверхностных состояний;
- 2) только медленных поверхностных состояний;
- 3) медленных и быстрых поверхностных состояний.

15. В условиях термодинамического равновесия полупроводник в целом...

- 1) заряжен положительно;
- 2) заряжен отрицательно;
- 3) электронейтрален.

16. В каком виде записывается формула Холла – Шокли – Рида для времени жизни неравновесных носителей при малом уровне инжекции?

- 1) $\tau = \tau_{p0} + \tau_{n0} = (\gamma_n + \gamma_p) / \gamma_n \gamma_p N_T$;
- 2) $\tau = \tau_{p0}[(n_i + n_1) / (2n_i)] + \tau_{n0}[(n_i + p_1) / (2n_i)]$;
- 3) $\tau = \tau_{p0}[(n_0 + n_1) / (n_0 + p_0)] + \tau_{n0}[(p_0 + p_1) / (n_0 + p_0)]$;
- 4) $\tau = \tau_{p0}(n_0 + n_1) + \tau_{n0}(p_0 + p_1)$.

17. Что такое люминесценция?

- 1) тепловое излучение твердых тел;
- 2) отражение и преломление твердым телом света;
- 3) свечение твердых тел при протекании через них электрического тока;
- 4) избыточное над тепловым излучением свечение твердых тел.

18. Что называют квантовым выходом фотоэффекта?

- 1) число электронов, образуемых одним поглощенным фотоном;
- 2) число пар носителей заряда, образуемых одним поглощенным фотоном;
- 3) число пар носителей заряда, образуемых падающими на полупроводник фотонами;

- 4) число дырок, образуемых одним поглощенным фотоном.

19. К фотоэлектрическим активным механизмам можно отнести...

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1) собственное и межпримесное; | 2) плазменное и фононное; |
| 3) собственное и примесное; | 4) примесное и плазменное. |

20. Темновая проводимость, определяется соотношением...

- | | |
|---|---|
| 1) $\sigma_T = q\mu_n n_0 + q\mu_p p_0$; | 2) $\sigma_T = q\mu_n n_0$; |
| 3) $\sigma_T = q\mu_p p_0$; | 4) $\sigma_T = q\mu_p n_0 + q\mu_n p_0$. |

5. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

5.1. Основная литература

1. Физика конденсированного состояния: учебное пособие для вузов / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 294 с. **(45)**
2. Смирнов С.В. Физика твёрдого тела: учебное пособие. – Томск, ТГУ, 2003. – 276 с. **(24)**
3. Троян П.Е. Микроэлектроника. Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2007. – 346 с. **(50)**

5.2. Дополнительная литература

1. Агафонников В.Ф. Физика полупроводниковых структур: учебное пособие. Томск: ТУСУР, 2007. – 198 с. **(41)**
2. Гуртов В.А., Осауленко Р.Н. Физика твёрдого тела для инженеров: учебное пособие / ред.: Л.А. Алешина. – М.: Техносфера, 2007. – 518 с. **(1)**
3. Протасов Ю.С., Чувашев С.Н. Твердотельная электроника. – Изд. МГТУ им. Баумана, 2003. – 189 с. **(2)**
4. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. – М.: Высшая школа, 2006. – 480 с.
5. Щука А.А. Электроника. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 800 с.
6. Шалимова К.В. Физика полупроводников: учебник для вузов. – 4-е изд. стер. – С.-П.: Лань, 2010. – 384 с.

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/>