

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Национальный исследовательский технологический  
университет «МИСиС»

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по науке и инновациям  
М.Р. Филонов

« 03 » сентября 2018 г.

Проректор по учебной работе  
В.Л. Петров

« 03 » сентября 2018 г.



## **ПРОГРАММА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ**

Направление подготовки/специальность  
11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

---

Направленность (профиль)/специализация  
Проектирование и технология электронной компонентной базы

---

Форма обучения  
очная

Квалификация (степень) выпускника аспирантуры  
Исследователь. Преподаватель-исследователь

Москва 2018

ДИРЕКТОР ЦИКБА  
ИГНАТОВ А.С.

## 1. Общая характеристика государственной итоговой аттестации

**1.1 Целью проведения государственной итоговой аттестации (далее ГИА)** является определение соответствия результатов освоения обучающимися основной образовательной программы высшего образования соответствующим требованиям стандартов ФГОС ВО по направлению 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

**1.2 Основные задачи государственной итоговой аттестации направлены на формирование и проверку освоения следующих компетенций:**

Код компетенции	Наименование компетенции
УК-1	способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
УК-2	способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки
УК-3	готовностью участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач
УК-4	готовностью использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках
УК-5	способностью следовать этическим нормам в профессиональной деятельности
УК-6	способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития
ОПК-1	владением методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности
ОПК-2	владением культурой научного исследования, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий
ОПК-3	способностью к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной профессиональной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности
ОПК-4	готовностью организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности
ОПК-5	готовностью к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования

### 1.3 Формы проведения государственной итоговой аттестации

ГИА проводится в форме:

- государственного экзамена;
- представления научного доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации).

### 1.4 Объем государственной итоговой аттестации в ЗЕ

В соответствии с ФГОС ВО по направлению 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи в Блок 4 «Государственная итоговая аттестация» входят: сдача государственного экзамена и научный доклад об основных результатах подготовленной научной квалификационной работы.

Общая трудоемкость ГИА составляет 9 зачетных единиц (324 часа).

Вид ГИА	Трудоемкость (з.е. / часы)	Семестры
1. Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена	1,5 з.е. / 54 часа	8
2. Представление научного доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации).	7,5 з.е. / 270 часов	8

### 1.5 Особенности проведения ГИА

Язык, на котором проводится ГИА – русский.

## 2 Структура и содержание государственной итоговой аттестации

### 2.1 Государственный экзамен

Государственный экзамен проводится по дисциплинам, результаты освоения которых имеют определяющее значение для профессиональной деятельности выпускников.

#### 2.1.1 Государственный экзамен проводится письменно.

#### 2.1.2 Состав учебных дисциплин, включенных в программу государственного экзамена:

- История и философия науки
- Педагогика высшей школы

- Материаловедение в электронике
- Приборы твердотельной электроники и микроэлектроники
- Физические методы исследований
- Полупроводниковые приемники излучений
- Электронные приборы на наноструктурах
- Технологическое оборудование в микро- и наноэлектронике

### 2.1.3 Контрольные вопросы к экзамену:

#### История и философия науки

1. Философия науки в историческом развитии и социокультурном контексте.
2. Преднаука и две стратегии порождения научных знаний.
3. Становление первых форм теоретического знания в античной культуре. Эпистеме и докса.
4. Роль христианской теологии в формировании философии и науки в средние века. Вера и разум.
5. Особые формы знания в средние века: алхимия, астрология и магия.
6. Формирования идеалов классической науки в философии Нового времени. Эмпиризм и рационализм (Ф. Бэкон и Р. Декарт).
7. Философия науки в немецкой классической философии (И. Кант и Ф. Гегель).
8. Позитивистская традиция в философии науки. Этапы развития позитивизма в XIX-XX веках.
9. Постпозитивистская традиция в западной философии науки. (Концепции науки К. Поппера, И. Лакатоса, Т. Куна, П. Фейерабенда, М. Полани).
10. Многообразие форм познавательной деятельности. Особенности научного познания.
11. Три аспекта бытия науки: наука как познавательная деятельность, как социальный институт, как особая сфера культуры.
12. Понятие науки, ее предмет, структура и функции. Типы научного знания.
13. Всеобщие методы научного познания. Диалектика и метафизика.
14. Сущность, структура и методы эмпирического познания.
15. Сущность, структура и методы теоретического исследования.
16. Понятие творчества. Идеалы и нормы научного творчества.
17. Понятие научной теории. Классический и неклассический варианты формирования научной теории.
18. Понятие научной истины. Основные и дополнительные критерии истины.
19. Научная истина в окружении паранаучного знания. Пределы научности в познании мира, общества и человека.

20. Научные традиции и научные революции. Глобальные революции и типы научной рациональности: классический, неклассический и постнеклассический.

21. Основные модели развития науки: кумулятивизм и антикумулятивизм, интернализм и экстернализм.

22. Философские основания науки. Функции философии в научном познании.

23. Этические проблемы науки в начале XXI в. Социальная ответственность ученого и свобода научного исследования.

24. Проблемы экологической этики в современной западной философии (Б. Калликот, О. Леопольд, Р. Аттфильд).

25. Наука и мировоззрение. Научная картина мира в исторической динамике.

26. Постнеклассическая наука и изменение мировоззренческих установок техногенной цивилизации. Сциентизм и антисциентизм в XX- XXI веках.

27. Современные процессы интеграции и дифференциации наук.

28. Наука как социальный институт. Научные сообщества и научные школы в исторической динамике. Научные школы НИТУ «МИСиС».

29. Роль науки в преодолении современных глобальных кризисов.

30. Взаимоотношение науки с государственной властью. Проблема государственного регулирования науки.

### **Основная литература**

1. Берков, В.Ф. Философия и методология науки / В.Ф. Берков. – Минск, 2004.

2. Западная философия: итоги тысячелетия: антология. – М.: 1997.

3. Зотов, А.Ф. Современная западная философия / А.Ф. Зотов. – М.: 2001.

4. История философии: Запад Россия Восток: в 4 кн. Кн. 4. Философия XX века. – М.: 1999.

5. История философии: учебник / под ред. Ч.С. Кирвеля. – Минск, 2001.

### **Педагогика высшей школы**

1. Понятие и сущность педагогики как науки. Предмет педагогики.

2. Основные понятия педагогической науки. Педагогическая теория, понятие и сущность

3. Понятие педагогической системы и ее сущность

4. Дидактика. Основные требования к современным образовательным технологиям. Дидактические системы.

5. «Педагогическая технология», «технология обучения», «образовательная технология».

6. Педагогическая деятельность. Виды педагогической деятельности в современной высшей школе. Этапы и формы педагогического проектирования

7. Предмет, цели и задачи образования. Принципы современного образования.
8. Педагогическая проблема, педагогическая задача и педагогическая ситуация
9. Педагогический процесс и его элементы
10. Понятие компетентностного подхода
11. Понятие образовательной среды. Типы образовательной среды, компоненты
12. образовательной среды
13. Методы и средства педагогической деятельности. Основные педагогические средства
14. Нормативно-правовая база образования в РФ
15. Предмет, цели и задачи образования. Принципы современного образования
16. Традиционное и инновационное образование. Инновационные образовательные технологии.
17. Деятельностно ориентированные технологии. Технологии обучения в сотрудничестве
18. Правила выдвижения познавательных задач в современной дидактике
19. Современные образовательные технологии, сущность, особенности и признаки.
20. Технологии активного обучения.
21. Имитационные и неимитационные технологии. Технологии активного деятельностного типа.
22. Технологии проблемного обучения. Технология ситуационного обучения.
23. Современные образовательные технологии, сущность, особенности и признаки
24. Особенности развития высшего образования в конце XX-начале XXI века. Состояние высшего образования в РФ. Особенности современного образования. Технологизация образования.
25. Основные проблемы современного образования. Педагогика высшего образования. Цели и задачи.
26. Учебная деятельность в высшей школе. Управление процессом обучения в высшей школе
27. Особенности дидактики высшей школы. Задачи дидактики высшей школы. Принципы дидактики высшей школы
28. Методы обучения. Понятия и классификация. Классификация методов обучения в педагогике высшей школы. Классификация средств обучения в инженерном образовании
29. Образовательный стандарт высшего образования: понятие, сущность, требования
30. Профессиональная подготовка преподавателя высшей школы

31. Способы конструирования и структурирования содержания образования в высшей школе
32. Образовательные технологии высшей школы
33. Преподавание в инженерном вузе. Особенности инженерной педагогики. Особенности обучения техническим дисциплинам. Использование визуальных средств в инженерном образовании.
34. Ключевые группы качеств студента и критерии их оценки
35. Фонд оценочных средств в высшей школе

#### *Основная литература*

1. Кудряшева, Л.А., Педагогика и психология / Л.А. Кудряшева. – М.: Вузовский учебник, НИЦ ИНФРА-М, 2015.
2. Трайнев В.А., Новые информационные коммуникационные технологии в образовании / В.А. Трайнев, В.Ю. Теплышев, И.В.Трайнев. – 2-е изд. – М.: Издательско-торговая корпорация “Дашков и К°”, 2013. – 320 с.

#### *Дополнительная литература*

1. Якушева, С.Д. Основы педагогического мастерства и профессионального саморазвития: Учебное пособие / С.Д. Якушев. – М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 416 с.
2. Резник, С.Д. Аспирант вуза [Текст] : технологии научного творчества и педагогической деятельности / С.Д. Резник. - М.: ИНФРА-М, 2011. – 518 с.
3. Федотова, Е.Л. Информационные технологии в науке и образовании: Учебное пособие / Е.Л. Федотова, А.А. Федотов. – М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2013. – 336 с.

#### **Материаловедение в электронике**

1. Общие свойства полупроводников. Природа химической связи. Структура кристаллов. Идеальные и реальные кристаллы. Дефекты в кристаллах. Свойства основных монокристаллических материалов микроэлектроники: Si, GaAs и др.. Поликристаллические и аморфные полупроводники.
2. Зонная теория твердого тела. Энергетические спектры электронов в металлах, полупроводниках, диэлектриках. Зона проводимости и валентная зона. Электроны и дырки. Эффективная масса электрона. Экситоны. Собственные и примесные полупроводники. Донорные и акцепторные примеси.
3. Основы статистической физики. Функция распределения Ферми-Дирака. Концентрация электронов и дырок в зонах и их температурные зависимости. Распределение Максвелла-Больцмана. Критерий вырождения электронного газа. Вырожденные и невырожденные полупроводники.

4. Рекомбинация носителей заряда. Рекомбинация «зона-зона» и рекомбинация через примеси и дефекты. Теория рекомбинации Шокли-Рида. Диффузионная длина и время жизни носителей. Поверхностная рекомбинация.
5. Электропроводность полупроводников. Носители заряда в слабом электрическом поле. Взаимодействие с фононами, примесными атомами, дефектами. Подвижность электронов и дырок. Условие электронейтральности. Диффузия и дрейф носителей заряда. Соотношение Эйнштейна. Носители заряда в сильном электрическом поле. Горячие электроны. Лавинное умножение в полупроводниках. Электрические домены и токовые шнуры. Эффект Ганна.
6. Уравнение для плотности электрического тока в полупроводниках. Уравнение непрерывности. Уравнение Пуассона.
7. Электронно-дырочный (р-п) переход. Инжекция и экстракция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика р-п перехода. Токи носителей заряда в р-п переходе, квазиуровни Ферми. Генерация и рекомбинация носителей в р-п переходе. Барьерная и диффузионная емкость. Частотные и импульсные свойства. Пробой р-п перехода: тепловой, лавинный, туннельный.
8. Транзисторный эффект. Зонная диаграмма полупроводниковой структуры с двумя близко расположенными р-п переходами. Коэффициент инжекции. Коэффициент переноса носителей через базу. Коэффициент усиления транзистора.
9. Контакт металл-полупроводник. Теория Шоттки. Вольт-амперная характеристика. Омический контакт. Сопоставление с р-п переходом.
10. Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Зонная диаграмма и ее изменение при приложении напряжения. Роль поверхностных состояний, подвижных и неподвижных зарядов в диэлектрике.
11. Гетероструктуры. Зонная диаграмма гетеро- р-п- перехода. Коэффициент инжекции. Суперинжекция. Одинарные и двойные гетероструктуры. Варизонные структуры.
12. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Поглощение излучения: собственное и примесное, экситонное и на свободных носителях. Закон Бугера. Красная граница поглощения. Фотопроводимость. Спектральная характеристика. Фотовольтаический эффект в р-п переходе. Эффекты, вызываемые поглощением высокоэнергетического ядерного излучения в полупроводниках.
13. Излучение полупроводников. Прямые и не прямые переходы носителей заряда. Виды люминесценции: инжекционная, катодо-, фото- люминесценция. Спектры излучения. Правило Стокса, антистоксова люминесценция. Квантовый выход. Вывод излучения из полупроводников.
14. Лазерный эффект в полупроводниках. Индуцированное (стимулированное) излучение. Оптический резонатор, усиление и генерация света. Пороговый ток.

15. Термоэлектрические явления. Термо- и гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла. Электро-, магнито-, акустооптические эффекты. Поверхностные акустические волны. Акустоэлектронные волны.

*Основная литература:*

1. Шалимова, К.В. Физика полупроводников / К.В. Шалимова. – М.: Лань, 2011 г.
2. R.F. Pierret. Advanced Semiconductor Fundamentals / R.F. Pierret. – Pearson Education, Inc, 2011.
3. T.F. Schubert, E.M. Kim Fundamentals of Electronics: Book 1 Electronic Devices and Circuit Applications. Morgan & Claypool Publishers, 2015 <https://doi.org/10.2200/S00598ED1V01Y201409DCS045>.

*Дополнительная литература:*

1. Киреев, П.С. Физика полупроводников / П.С. Киреев. – М.: Высшая школа, 1975 г.
2. Грундман, М. Основы физики полупроводников / М. Грундман. – М.: Издательство: Физматлит, 2012.

**Приборы твердотельной электроники и микроэлектроники**

1. Зонная диаграмма приповерхностной области полупроводника в равновесных условиях.
2. Уравнение Пуассона для ОПЗ. Выражение для заряда в ОПЗ. Неравновесное уравнение Пуассона.
3. Избыток свободных носителей заряда.
4. Среднее расстояние локализации свободных носителей от поверхности полупроводника.
5. Форма потенциального барьера на поверхности полупроводника.
6. Природа поверхностных состояний. Статистика заполнения ПС.
7. Устройство МДП структур и их энергетическая диаграмма.
8. Уравнение электронейтральности.
9. Емкость МДП структур.
10. Экспериментальные методы измерения вольт-фарадных характеристик.
11. Квазистатический C-V метод.
12. Метод высокочастотных C-V характеристик.
13. Определение параметров МДП структур на основе анализа C-V характеристик
14. Определение плотности поверхностных состояний на границе раздела полупроводник – диэлектрик.
15. Виды флуктуаций поверхностного потенциала.
16. Конденсаторная модель Гоетцбергера для флуктуаций поверхностного потенциала.

17. Среднеквадратичная флуктуация потенциала, обусловленная системой случайных точечных зарядов.
18. Потенциал, создаваемый зарядом, находящимся на границе двух сред с экранировкой.
19. Потенциальный рельеф в МДП структуре при дискретности элементарного заряда.
20. Функция распределения потенциала при статистических флуктуациях.
21. Зависимость величины среднеквадратичной флуктуации от параметров МДП-структуры.
22. Пространственный масштаб статистических флуктуаций. Сравнительный анализ зависимости среднеквадратичной флуктуации и потенциала оптимальной флуктуации.
23. Уравнение электронейтральности в неравновесных условиях.
24. Вольт-амперная характеристика МДП транзистора в области сильной и слабой инверсии.
25. МДП транзистор как элемент памяти.
26. Полевые транзисторы со структурой металл – нитрид – окисел – полупроводник (МНОП) транзистор
27. МОП ПТ с плавающим затвором.
28. Полевой транзистор с затвором в виде р-п перехода
29. Микроминиатюризация МДП приборов. Размерные эффекты в МДП транзисторах.
30. Физические явления, ограничивающие микроминиатюризацию.

#### *Основная литература:*

1. Ковалев, А.Н. Твердотельная электроника: учебное пособие / А.Н. Ковалев. – Москва: МИСиС, 2010. - 211 с.
2. Шишкин, И.М. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства: учебное пособие / Г.Г. Шишкин, И.М. Агеев..— М.: Бинoм. Лаборатория знаний, 2012. — 408 с.
3. Г.И. Зебрев. Физические основы кремниевой наноэлектроники / Г.И. Зебрев. – М.: БИНОМ, 2012. – 242 с.

#### *Дополнительная литература:*

1. Пасынков, В.В. Полупроводниковые приборы / В.В. Пасынков, Л.К. Чиркин. – СПб: Лань, 2002.
2. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х книгах. Кн. 2. Пер. с англ. - 2-е перераб. и доп. изд. - М.: Мир, 1984.
3. Гуртов, В.А. Твердотельная электроника. Учебное пособие Издание второе, исправленное и дополненное. Рекомендовано Учебно-методическим объединением. Твердотельная электроника: Учеб. пособие / В.А. Гуртов. – Москва, 2005. – 492 с.

### **Физические методы исследований**

1. Дифракционные методы исследования атомной структуры материалов. Особенности распространения волн в периодических структурах. Закон Вульфа-Брэгга. Обратная решетка.
2. Рентгеновская дифрактометрия. Качественный и количественный рентгеновский фазовый анализ. Методы рентгеноструктурного анализа.
3. Рентгенографический анализ текстур, остаточных напряжений, дефектов кристаллической решетки, типа твердого раствора, химического дальнего порядка.
4. Электронография и нейтронография.
5. Просвечивающая и растровая электронная микроскопия, анализ фазового состава, микроструктуры и дефектов кристаллического строения.
6. Методы локального анализа химического состава. Микрорентгеноспектральный анализ. Оже-электронная спектроскопия. Рентгеноэлектронная фотоэлектронная спектроскопия. Масс-спектроскопия вторичных ионов. ИК-спектроскопия.
7. Световая микроскопия. Методы количественной металлографии.
8. Термический анализ. Абсолютный и дифференциальный методы измерения.
9. Калориметрические методы исследования (методы смешения, ввода и протока тепла; сканирующая, модуляционная и импульсная калориметрия).
10. Дилатометрические методы анализа.
11. Методы измерения теплопроводности.
12. Измерение магнитных свойств. Определение параметров кривой намагничивания и петли гистерезиса в статическом и динамическом режимах измерения. Термомагнитный анализ.
13. Применение измерений физических свойств для решения материаловедческих задач (изучения изменений состава и структуры).
14. Методы механических испытаний (испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение). Усталостные испытания. Ударная вязкость.
15. Испытания на ползучесть, длительную прочность, релаксацию напряжений.
16. Измерение микротвердости и твердости.

### **Основная литература**

1. Введенский, В.Ю. Экспериментальные методы физического материаловедения / В.Ю. Введенский, А.С. Лилеев, А.С. Перминов. – М.: Изд. Дом «МИСиС», 2011.
2. Методы и средства измерений, испытаний и контроля. Современные методы исследований функциональных материалов. Под ред. проф. С.Д. Калошкина. – М.: Изд. Дом «МИСиС», 2010.

## **Дополнительная литература**

1. Иванов, А.Н. Анализ несовершенств кристаллического строения по профилю и интенсивности рентгеновских отражений: Учебное пособие / А.Н. Иванов, А.М. Поляков. – М.: МИСиС, 2002. – 78 с.

### **Полупроводниковые приемники излучений**

1. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках. Основные понятия.
2. Фотоэлектрические явления в твердых телах. Основные понятия.
3. Собственное поглощение света. Экситонное поглощение. Поглощение света носителями заряда. Примесное поглощение света. Поглощение света кристаллической решёткой.
4. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости.
5. Фотогальванический эффект в р-п переходе и его применения.
6. Приемники оптического излучения. Основные понятия.
7. Фотоприемники. Параметры и характеристики. Фотоприемники. Классификация.
8. Фоторезисторы. Структура, основные принципы работы, параметры, характеристики.
9. Фотодиоды. Структура, основные принципы работы, параметры, характеристики.
10. Фотодиоды с барьером Шоттки. Структура, основные принципы работы, параметры, характеристики.
11. Гетерофотодиоды. Структура, основные принципы работы, параметры, характеристики.
12. МДП - фотодиоды. Структура, основные принципы работы, параметры, характеристики.
13. Р-і-п-фотодиоды и лавинные фотодиоды. Структура, основные принципы работы, параметры, характеристики.
14. Фотоэлементы. Структура, основные принципы работы, параметры, характеристики.
15. Фототранзисторы. Структура, основные принципы работы, параметры, характеристики.
16. Полевые фототранзисторы. Структура, основные принципы работы, параметры, характеристики.
17. Гетерофототранзисторы. Структура, основные принципы работы, параметры, характеристики.
18. Фототиристоры. Структура, основные принципы работы, параметры, характеристики.
19. Кремниевые солнечные батарей.
20. Конструкция фотопреобразователя и его зонная диаграмма.
21. Технология изготовления солнечного элемента.
22. Солнечные элементы на основе многопереходных гетероструктур.
23. Каскадные солнечные элементы.

24. Варианты повышение эффективности преобразования солнечной энергии.
25. Радиационная деградация солнечных батарей в космической среде
26. Приемники оптических изображений на основе приборов с зарядовой связью.
27. Принцип действия приборов с зарядовой связью. Разновидности ПЗС. Классификация.
28. ПЗС с поверхностным каналом. Структура, основные принципы работы, параметры, характеристики.
29. ПЗС с объемным каналом. Структура, основные принципы работы, параметры, характеристики.
30. ПЗС на основных носителях. Структура, основные принципы работы, параметры, характеристики.
31. Интегральные приборы типа пожарных цепочек. Структура, основные принципы работы, параметры, характеристики.
32. Детекторы – приемники радиационных квантов и излучений. Основные понятия.
33. Принцип действия и основные характеристики полупроводниковых детекторов.
34. Классификация полупроводниковых детекторов. Монолитные детекторы. Структура, основные принципы работы, параметры, характеристики.
35. Стриповые (полосковые) детекторы. Структура, основные принципы работы, параметры, характеристики.

#### *Основная литература:*

1. Филачев, А.М. Фотоприемники в оптико-электронных приборах и системах / А.М. Филачев, И.И. Таубкин, М.А. Тришенков. – М.: Физматкнига, 2016. — 104 с.
2. Игнатов, А.Н. Классическая электроника и наноэлектроника. Учебное пособие / А.Н. Игнатов, Н.Е. Фадеева, В.Л. Савиных. – М.: Издательство Флинта, 2017. – 350 с.
3. Юрчук, С.Ю. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы Курс лекций / С.Ю. Юрчук, М.Н. Орлова, И.В. Борзых, И.В. Щемеров. – М.: Издательский дом МИСиС, 2016. – ISBN 978-5-87623-942-6.
4. Войцеховский, А.В. Физические основы полупроводниковой фотоэлектроники. Учебное пособие / А.В. Войцеховский, И.И. Ижнин, В.П. Савчин, Н.М. Вакив. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2013. – 560 с.

#### *Дополнительная литература:*

1. Пихтин, А.Н. Оптическая и квантовая электроника / А.Н. Пихтин. – М.: Высшая школа, 2001. – 573 с.
2. Мартынов, В.Н. Полупроводниковая оптоэлектроника / В.Н. Мартынов,

- Г.И. Кольцов. – М.: МИСиС, 1999. – 400 с.
3. Юрчук, С.Ю. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы. Курс лекций / С.Ю. Юрчук, С.И. Диденко, Г.И. Кольцов, В.Н. Мартынов. – М.: Издательский дом МИСиС, 2004. – 112 с.
  4. Зи, С.М. Физика полупроводниковых приборов. (Книга 2) / С.М. Зи. – М.: Мир, 1984. – 456 с.
  5. Пресс, Ф.П. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью / Ф.П. Пресс. – М.: Радио и связь, 1991. — 264 с.
  6. Носов, Ю.Р. Приборы с зарядовой связью / Ю.Р. Носов. – М.: Знание, 1989.– 64 с.

### **Электронные приборы на наноструктурах**

1. Зонная диаграмма приповерхностной области полупроводника в равновесных условиях.
2. Уравнение Пуассона для ОПЗ. Выражение для заряда в ОПЗ. Неравновесное уравнение Пуассона.
3. Полевые транзисторы со структурой металл – нитрид – окисел – полупроводник (МНОП) транзистор
4. Физические явления, ограничивающие микроминиатюризацию.
5. Основа работы светодиодов
6. Строение наногетероструктур InGaN
7. Строение наногетероструктур AlGaP
8. Влияние гетероструктур InGaN на производство солнечных элементов.
9. Модель мелкой квантовой ямы.
10. Схема создания нового наноматериала.
11. Деление материалов по степени объемности. 3-D трехмерные, 2-D двумерные, 1-D одномерные и 0D-мерные структуры.
12. Технологические приемы для создания полупроводниковых приборов на принципе «сверху-вниз».
13. Многокаскадные солнечные элементы на основе гетероструктур.
14. Светодиоды на основе квантоворазмерных структур.
15. Полупроводниковые инжекционные лазеры на гетероструктурах.
16. Методы получения тонких слоев, применяемых в нанотехнологии и их особенности.
17. Модель глубокой (широкой) квантовой ямы.
18. Особенности модификации электронной (зонной) структуры упруго растянутой полупроводниковой гетероструктуры.
19. Особенности модификации электронной (зонной) структуры упруго сжатой полупроводниковой гетероструктуры.
20. Влияние химического состава полупроводниковой гетероструктуры на ширину запрещенной зоны.
21. Особенности полупроводниковых псевдоморфных гетероструктур и их применение
22. Приборы на одноэлектронном туннелировании.

23. Приборы на резонансном туннелировании.
24. Нанотранзисторные структуры на основе традиционных материалов.

*Основная литература:*

1. Рабинович, О.И. Физика и технология наноструктурных гетерокомпозиций / О.И. Рабинович, А.Н. Ковалев, М.И. Тимошина. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2016.
2. Шишкин, Г.Г. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства: учебное пособие / Г. Г. Шишкин, И. М. Агеев. – М.: Бином, 2017. – 408 с.
3. Филатов, Д.О. Фотоэлектрические свойства наноструктур GeSi/Si: Учебное пособие / Д.О. Филатов, М.А. Исаков, М.В. Круглова. – Н.Новгород: ННГУ, 2017.
4. Зебре Г.И. Физические основы кремниевой нанoeлектроники / Г.И. Зебрев. – М.: БИНОМ, 2012. – 242 с.

*Дополнительная литература:*

1. Павлова, Е.Д. Исследование квантово-размерных гетероструктур In(Ga)As/GaAs методами фотоэлектрической спектроскопии и просвечивающей электронной микроскопии: Учебно-методическое пособие / Е.Д. Павлова, Н.С. Волкова, А.П. Горшков, М.О. Марычев. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014.
2. Вартанян, Т.А. Основы физики металлических наноструктур: Учебное пособие / Т.А. Вартанян. – СПб.: НИУ ИТМО, 2015.
3. Павлова, Е.Д. Исследование квантово-размерных гетероструктур In(Ga)As/GaAs методами фотоэлектрической спектроскопии и просвечивающей электронной микроскопии: Учебно-методическое пособие / Е.Д. Павлова, Н.С. Волкова, А.П. Горшков, М.О. Марычев. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016.
4. Вартанян, Т.А. Основы физики металлических наноструктур: Учебное пособие / Т.А. Вартанян. – СПб.: НИУ ИТМО, 2016.
5. Гуртов, В.А. Твердотельная электроника / В.А. Гуртов. – М.: Техносфера, 2008. - 512 с. - ISBN: 978-5-94836-187-1.

**Технологическое оборудование в микро- и нанoeлектронике**

1. Особенности транспорта носителей заряда в 3D, 2D, 1D и 0D системах.
2. Методы, использующие сканирующие зонды. Нанолитография. Нанопечать.
3. Принципы работы сканирующих зондовых микроскопов. Сканирующая туннельная микроскопия.
4. Особенности производства полупроводниковых приборов и ИМС и их влияние на конструкцию оборудования. Основные стадии производства и классификация оборудования полупроводникового производства.
5. Основные методы и инструментарий для исследований структурных свойств наноразмерных материалов: атомно-силовая микроскопия,

- сканирующее – туннельная микроскопия, Оже-микроскопия, рентгеновская микроскопия
6. Оборудование для проведения ионно-плазменных процессов.
  7. Оборудование для ионной имплантации.
  8. Оборудование для электронно-лучевой обработки.
  9. Вакуумная система и ее элементы. Классификация вакуумных насосов и их характеристики. Механические насосы с масляным уплотнением. Средства получения высокого вакуума (диффузионные насосы, турбомолекулярные, магниторазрядные, криогенные).
  10. Методика проектирования вакуумной системы.
  11. Оборудование для изготовления фотошаблонов.
  12. Оборудование для совмещения и экспонирования.
  13. Оборудование для вакуумных процессов.
  14. Оборудование для присоединения выводов. Оборудование для присоединения кристаллов. Оборудование для герметизации корпусов.
  15. Оборудование для химической обработки полупроводниковых материалов.

#### *Основная литература:*

1. Чистяков, Ю.Д. Физико-химические основы технологии микроэлектроники / Ю.Д. Чистяков, Ю.П. Райнова. – М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2010.
2. Шишкин, Г.Г. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства: учебное пособие / Г.Г. Шишкин, И.М. Агеев. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – ISBN 978-5-9963-2652-5.

#### *Дополнительная литература*

1. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника. Под ред. Федорова Н.Д. – М., Радио и связь, 1998.
2. Березин, А.С. Технология и конструирование интегральных микросхем / А.С. Березин, О.Р. Мочалкина. –М.: Радио и связь, 1983.
3. Черняев, В.Н. Технология производства интегральных микросхем и микропроцессоров / В.Н. Черняев. – М.: Радио и связь, 1987.
4. Коледов, Л.А. Технология и конструкции микросхем, микропроцессоров и микросборок / Л.А. Коледов. – М.: Радио и связь, 1989.

### **2.1.4 Критерии оценивания**

Результаты государственного экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение государственного аттестационного испытания.

«отлично» - минимум 3 вопроса билета (из 3) имеют полные ответы. Содержание ответов свидетельствует об отличных знаниях выпускника и о его умении решать профессиональные задачи, соответствующие его

будущей квалификации.

«хорошо» - минимум 2 вопроса билета (из 3) имеют полные ответы. Содержание ответов свидетельствует о хороших знаниях выпускника и о его умении решать профессиональные задачи, соответствующие его будущей квалификации.

«удовлетворительно» - минимум 1 вопрос билета (из 3) имеет полный и правильный ответ, 2 вопроса раскрыты не полностью. Содержание ответов свидетельствует о недостаточных, но удовлетворительных знаниях выпускника и о его ограниченном умении решать профессиональные задачи.

«неудовлетворительно» - три вопроса билета (из трех) не имеют ответа. Содержание ответов свидетельствует об отсутствии знаний выпускника и о его неумении решать профессиональные задачи. Аспиранты, получившие по результатам государственного экзамена оценку «неудовлетворительно», не допускаются к государственному аттестационному испытанию – представлению научного доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации).

## 2.1.5 Рекомендуемая литература:

### Основная литература:

1. Шишкин, Г.Г. Нанoeлектроника. Элементы, приборы, устройства: учебное пособие / Г.Г. Шишкин, И.М. Агеев. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – ISBN 978-5-9963-2652-5.
2. Рабинович, О.И. Физика и технология наноструктурных гетерокомпозиций / О.И. Рабинович, А.Н. Ковалев, М.И. Тимошина. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2016.
3. Юрчук, С.Ю. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы Курс лекций / С.Ю. Юрчук, М.Н. Орлова, И.В. Борзых, И.В. Щемеров. – М.: Издательский дом МИСиС, 2016. – ISBN 978-5-87623-942-6.
4. Грундман, М. Основы физики полупроводников. – М. Издательство: Физматлит, 2012.
5. Юрчук, С. Ю. Методы математического моделирования (N 2938) : учеб. пособие / С.Ю. Юрчук. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2018. — 96с. — ISBN 978-5-906953-43-8.
6. Рабинович, О.И. Основы технологии электронной компонентной базы: учебно-метод. пособие / О.И. Рабинович, Д.Г. Крутогин, С.Ф. Маренкин, С.В. Подгорная. –М.: Изд-во МИСиС, 2015. — 58с. — <http://elibrary.misis.ru/plugins/libermedia/LMGetDocumentById.php?id=987692326>.
7. Юрчук, С. Ю. Основы математического моделирования : учеб. пособие / С.Ю. Юрчук – М.: Издательский дом МИСиС, 2014. – 107 с. <http://elibrary.misis.ru/plugins/libermedia/LMGetDocumentById.php?id=987680633>. — ISBN 978-5-87623-811-5.
8. Таперо, К. И. Основы радиационной стойкости изделий электронной техники. Радиационные эффекты в изделиях электронной техники:

- учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. подг. 210100 - Электроника и наноэлектроника / К.И. Таперо, С.И. Диденко. – М.: Изд-во МИСиС, 2013. – 348 с.  
<http://elibrary.misis.ru/plugins/libermedia/LMGetDocumentById.php?id=536913>. – ISBN 978-5-87623-661-6.
9. Юрчук, С.Ю. Приборы квантовой и оптической электроники : курс лекций / С.Ю. Юрчук, М.Н. Орлова, И.В. Борzych, И.В. Щемеров. – М. : Изд-во МИСиС, 2016. – 117 с.  
<http://elibrary.misis.ru/plugins/libermedia/LMGetDocumentById.php?id=987693241>. – ISBN 978-5-87623-942-6.
10. Ковалев, А.Н. Физика и технология наноструктурных гетерокомпозиций: учебник / А.Н. Ковалев. – М.: Изд-во МИСиС, 2015. – 460 с.  
<http://elibrary.misis.ru/plugins/libermedia/LMGetDocumentById.php?id=987715297>. – ISBN 978-5-87623-941-9.

### *Дополнительная литература*

1. Зи, С.М. Физика полупроводниковых приборов в 2-х книгах. – М., Мир, 1984.
2. Викулин, И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов / И.М. Викулин, В.И. Стафеев. – М.: Радио и связь, 1990.
3. Блихер А. Физика силовых биполярных и полевых транзисторов / А. Блихер. – Ленинград, Энергоатомиздат, 1986.
4. Степаненко, И.П. Основы микроэлектроники. – М., Радио и связь, 1998.
5. Тилл У. Интегральные схемы, материалы, приборы и их изготовление / У. Тилл, Дж. Лаксон. – М, Мир, 1985.
6. Емельянов, В.А. Быстродействующие цифровые КМОП БИС. – Минск, Полифакт, 1998.
7. Носов, Ю.Р. Оптоэлектроника. – М., Радио и связь, 1989.
8. Фотоприемники видимого и ИК диапазонов. Под ред. В.И. Стафеева – М., Радио и связь, 1985.
9. Носов, Ю.Р. Основы физики приборов с зарядовой связью / Ю.Р. Носов, В.А. Шилин. – М., Наука, 1986.
10. Тришенков, М.А. Фотоприемные устройства и ПЗС. – М., Радио и связь, 1992.
11. Технология СБИС в 2-х книгах. Под ред. С. Зи. – М., Мир, 1986.
12. Валиев, К.А. Физические основы субмикронной фотолитографии. – М., Наука, 1990.
13. Бродуай И. Физические основы микротехнологии / И. Бродуай, Дж. Мерей. – М., Мир, 1985.
14. Моделирование полупроводниковых приборов и технологических процессов. Под ред. Д. Миллера. – М., Радио и связь, 1989.
15. Бубенников, А.Н. Моделирование интегральных микротехнологий, приборов и схем. – М., Высшая школа, 1989.
16. Козырь, И.Я. Качество и надежность интегральных микросхем. – М., Высшая школа, 1987.

17. Домрачев, В.Г. Базовые матричные кристаллы и матричные БИС / В.Г. Домрачев, П.П. Мальцев, И.В. Новаченко, С.Н. Пономарев. – М., Энергоатомиздат, 1992.
18. Алексенко, А.Г. Микросхемотехника / А.Г. Алексенко, И.И. Шагурин – М., Радио и связь, 1987.
19. Рычина, Т.А. Устройства функциональной электроники и электрорадиоэлементы / Т.А. Рычина, А.В. Зеленский. – М., Радио и связь, 1989. – 352 с.
20. Валиев, К.А. Квантовые компьютеры: надежды и реальность / К.А. Валиев, А.А. Кокин. - М., РХД, 2001.
21. Драгунов, В.П. Основы наноэлектроники / В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. – Новосибирск, НГТУ, 2000.
22. Арсенид галлия в микроэлектронике. Под ред. В.Н. Мордковича. – М., Мир, 1988.
23. Пасынков, В.В. Полупроводниковые приборы / В.В. Пасынков, Л.К. Чиркин. – СПб, «Лань», 2002.

*Научные журналы и электронные ресурсы:*

- Journal of applied physics - Режим доступа: <https://aip.scitation.org/journal/jap>
- Applied physic letters - Режим доступа: <https://aip.scitation.org/journal/apl>
- Physical Review - Режим доступа: <https://journals.aps.org/>
- Journal of crystal growth - Режим доступа: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-crystal-growth>
- Journal of alloys and compounds - Режим доступа: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-alloys-and-compounds>
- Physica status solidi - Режим доступа: <https://www.wiley-vch.de/en/shop/journals/268>
- Japanese journal of applied physics - Режим доступа: <http://iopscience.iop.org/journal/1347-4065>

*Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»*

- Научная электронная библиотека (eLIBRARY.RU) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://elibrary.ru/>.
- Электронная библиотека диссертаций (ЭБД) РГБ [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://dvs.rsl.ru>.
- Электронно - библиотечная база данных «Электронная библиотека технического ВУЗа») [Электронный ресурс]. - Режим доступа:
- AmericanPhysicalSociety[Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://publish.aps.org>.
- BlackwellPublishing[Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://en.academic.ru/dic.nsf/enwiki/2303687>.
- Elsevier[Электронный ресурс]. - Режим доступа:

- <http://www.sciencedirect.com>.
- Elsevier(журналы открытого доступа) ) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://sciencedirect.com>.
  - Nature[Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.nature.com>.
  - Sage[Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://online.sagepub.com>.
  - Springer[Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.springerlink.com>.
  - WebofScience[Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://isiknowledge.com>.
  - Scopus [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.scopus.com>
  - eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]: научная электронная библиотека. – URL: <http://www.elibrary.ru>
  - ibooks.ru[Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система. – URL: <http://ibooks.ru>
  - Издательство «Лань» [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система. – URL: <http://e.lanbook.com/>
  - Издательство «Юрайт» [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система. – URL: <http://biblio-online.ru>
  - Znanium.com[Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система. – URL: <http://znanium.com>
  - Словари. ру. – Режим доступа: <http://slovari.ru/dictsearch>
  - Федеральная университетская компьютерная сеть России. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.runnet.ru/res/>

## **2.2 Научно-квалификационная работа (диссертация)**

Научно-квалификационная работа (диссертация) представляет собой выполненную обучающимся научно-квалификационную работу, демонстрирующую уровень подготовленности выпускника к самостоятельной профессиональной деятельности.

### **2.1.1 Требования к научно-квалификационной работе**

**2.1.1.1 Научно-квалификационная работа выполняется в виде диссертации, в которой содержится решение задачи, имеющей значение для развития соответствующей отрасли знаний, либо изложены новые научно обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны.**

#### **2.1.1.2 Порядок выполнения научно-квалификационной работы.**

Научно-квалификационная работа (диссертация) должна быть написана аспирантом самостоятельно, обладать внутренним единством, содержать новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной

защиты, и свидетельствовать о личном вкладе аспиранта в науку. Предложенные аспирантом в диссертации решения должны быть аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями.

В диссертации, имеющей прикладной характер, должны приводиться сведения о практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов, а в диссертации, имеющей теоретический характер, - рекомендации по использованию научных выводов.

В научно-квалификационной работе аспирант обязан ссылаться на автора и (или) источник заимствования материалов или отдельных результатов. При использовании в диссертации результатов научных работ, выполненных аспирантом лично и (или) в соавторстве, он обязан отметить в диссертации это обстоятельство.

Основные научные результаты научного исследования аспиранта должны быть опубликованы в рецензируемых научных изданиях и журналах (не менее двух публикаций). К публикациям, в которых излагаются основные научные результаты научно-исследовательской работы, приравниваются патенты на изобретения, свидетельства на полезную модель, патенты на селекционные достижения, свидетельства на программу для электронных вычислительных машин, базу данных, топологию интегральных микросхем, зарегистрированные в установленном порядке.

Научно-квалификационная работа (диссертация) должна быть подготовлена на русском языке.

Научный доклад об основных результатах подготовленной научно квалификационной работы (диссертации) представляет собой краткое изложение проведенных аспирантом научных исследований. В научном докладе излагаются основные идеи и выводы диссертации, показывается вклад автора в проведенное исследование, степень новизны и практическая значимость приведенных результатов исследований, приводится список публикаций аспиранта, в которых отражены основные научные результаты диссертации.

### **2.1.1.3 Критерии выставления оценок (соответствия уровня подготовки выпускника требованиям стандарта) на основе выполнения и защиты научно-квалификационной работы (диссертация).**

Результаты защиты научного доклада по выполненной научно квалификационной работе определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», означают успешное прохождение государственного аттестационного испытания.

Оценка «отлично» выставляется аспиранту, который:

- прочно усвоил предусмотренный программный материал;
- правильно, аргументировано ответил на все вопросы, с приведением примеров;

- показал глубокие систематизированные знания, владеет приемами рассуждения и сопоставляет материал из разных источников: теорию связывает с практикой и т.д.
- Обязательным условием выставленной оценки является правильная речь в быстром или умеренном темпе.

Оценка «хорошо» выставляется аспиранту, который:

- в целом успешно усвоил предусмотренный программный материал;
- в ответах на вопросы, содержатся пробелы применения навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач;
- показал систематизированные знания, владеет приемами рассуждения и сопоставляет материал из разных источников: теорию связывает с практикой и т.д.

Оценка «удовлетворительно» выставляется аспиранту, который:

- в целом успешно усвоил предусмотренный программный материал;
- в ответах на вопросы, содержатся пробелы и не систематические применяются навыки анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач;
- показал в целом удовлетворительные знания, владеет приемами рассуждения и сопоставляет материал из разных источников: теорию связывает с практикой и т.д.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется аспиранту, который не смог раскрыть основной вопрос даже на 50%, в ответах на дополнительные вопросы и замечания, допустил существенные ошибки или не может на них ответить, фрагментарное применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач.

### **3. Материально-техническое обеспечение государственной итоговой аттестация**

Материально-техническая база обеспечивает проведение всех видов деятельности в процессе подготовки и выполнения ГИА, соответствует требованиям государственного образовательного стандарта подготовки аспирантов по направлению 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи.

- Лекционная аудитория.
- Компьютер, ноутбуки с пакетами прикладных программ и с выходом в Интернет, проектор, экран.
- Лицензионное программное обеспечение.

*Составители:*

С.И. Диденко, зав. каф., к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_

С.П. Кобелева, доц., к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_

С.Ю. Юрчук, доц., к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_

О.И. Рабинович, доц., к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_

М.Н. Орлова, доц., к.т.н.

\_\_\_\_\_

Программа утверждена на заседании кафедры ППЭиФПП  
протокол № 3 от «20» ноября 2018 г.