Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра Полупроводниковых приборов и микроэлектроники

"УТВЕРЖДАЮ"
Первый проректор
Г.И. Расторгуев
"__" _____ 2015 г.

# ПРОГРАММА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ

Направление подготовки: 11.04.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль): Микро- и наноэлектроника

Основной вид деятельности: научно-исследовательская

Квалификация: Магистр

Форма обучения: очная

Год начала подготовки по образовательной программе: 2014

Новосибирск 2015

Программа государственной итоговой аттестации (ГИА) составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 11.04.04 Электроника и наноэлектроника

ФГОС ВО утвержден приказом Минобрнауки России 30.10.14 №1407 (зарегистрирован Минюстом России 26.11.14, регистрационный №34944)

Программу разработал:

д.ф-м.н., с.н.с. В.А. Гайслер _____

Программа обсуждена на заседании
кафедры Полупроводниковых приборов и микроэлектроники, протокол заседания кафедры №__1___ от 06.02.2015 г.

Заведующий кафедрой:

д.ф-м.н., с.н.с. В.А. Гайслер _____

Ответственный за образовательную программу:

д.ф-м.н., с.н.с. В.А. Гайслер _____

Программа утверждена на ученом совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 2/1 от 06.02.2015 г.

декан РЭФ:

д.т.н., профессорВ.А. Хрусталев_____

**1 Обобщенная структура государственной итоговой аттестации**

Государственная итоговая аттестация по направлению 11.04.04 Электроника и наноэлектроника (магистерская программа: Микро- и наноэлектроника) включает государственный экзамен (ГЭ) и выпускную квалификационную работу (ВКР).

Обобщенная структура государственной итоговой аттестации (ГИА) приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Обобщенная структура ГИА

| Коды | Компетенции | ГЭ | ВКР |
|---|---|---|---|
| **ОК.1** | способность использовать иностранный язык в профессиональной сфере | | + |
| **ОК.2** | способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом | | + |
| **ОК.3** | готовность к активному общению с коллегами в научной, производственной и социально-общественной сферах деятельности | | + |
| **ОК.4** | способность адаптироваться к изменяющимся условиям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности | | + |
| **ОПК.1** | способность понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения | + | + |
| **ОПК.2** | способность использовать результаты освоения дисциплин программы магистратуры | | + |
| **ОПК.3** | способность демонстрировать навыки работы в коллективе, порождать новые идеи (креативность | | + |
| **ОПК.4** | способность самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения в своей предметной области | + | + |
| **ОПК.5** | готовность оформлять, представлять, докладывать и аргументированно защищать результаты выполненной работы | | + |
| **ПК.1** | готовность формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способность обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач | + | + |
| **ПК.2** | способность разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач с использованием современных языков программирования и обеспечивать их программную реализацию | + | + |
| **ПК.3** | готовность осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени | + | + |
| **ПК.4** | способность к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов | + | + |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **ПК.5** | способность делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения | + | + |
| **ПК.17** | готовность участвовать в проведении технико-экономического и функционально-стоимостного анализа рыночной эффективности создаваемого продукта | | + |

## 2 Содержание и порядок организации государственного экзамена

### 2.1 Содержание государственного экзамена

2.1.1 Государственный экзамен является квалификационным и предназначен для определения теоретической подготовленности выпускника к решению профессиональных задач, установленных ФГОС ВО.

2.1.2 Государственный экзамен проводится по материалам нескольких дисциплин образовательной программы, результаты освоения которых имеют определяющее значение для профессиональной деятельности выпускников.

2.1.3 Содержание контролирующих материалов и критерии оценки государственного экзамена приведены в фонде оценочных средств ГИА.

### 2.2 Порядок организации государственного экзамена

2.2.1 Государственный экзамен по направлению 11.04.04 Электроника и наноэлектроника (магистерская программа: Микро- и наноэлектроника) проводится очно в письменной форме по билетам, с обязательными ответами на листах бумаги со штампом факультета и последующим выступлением в устной форме по содержанию письменных ответов и ответов на дополнительные вопросы.

2.2.2 Государственный экзамен принимается государственной экзаменационной комиссией (ГЭК) в сроки, определенные соответствующим календарным графиком учебного процесса.

2.2.3 Для ответа на билеты студентам предоставляется возможность подготовки в течение 60 минут. Для ответа на вопросы билета каждому студенту предоставляется время для выступления (не более 20 минут), после чего председатель ГЭК предлагает ее членам задать студенту дополнительные вопросы в рамках тематики вопросов в билете. Если студент затрудняется при ответе на дополнительные вопросы, члены ГЭК могут задавать вопросы в рамках тематики программы государственного экзамена.

2.2.4 Результаты государственного экзамена объявляются в день его проведения после оформления протоколов заседания ГЭК.

## 3 Содержание и порядок организации защиты выпускной квалификационной работы

### 3.1 Содержание выпускной квалификационной работы

3.1.1 Выпускная квалификационная работа (ВКР) представляет собой выполненную обучающимся работу, демонстрирующую уровень подготовленности выпускника к самостоятельной профессиональной деятельности.

3.1.2 ВКР имеет следующую структуру:

- задание на выпускную квалификационную работу,
- аннотация,
- содержание (перечень разделов),
- введение (включающее актуальность выбранной тематики),
- цели и задачи исследования,
- аналитический обзор литературы,

- исследовательская (проектная) часть,
- заключение,
- список использованных источников (в том числе источники на иностранном языке),
- приложения (при необходимости).
-

### 3.2 Порядок защиты выпускной квалификационной работы

3.2.1 Порядок защиты ВКР определяется действующим Положением о государственной итоговой аттестации выпускников федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» по образовательным программам, реализуемым в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования.

3.2.2 Защита выпускной квалификационной работы проводится на заседании государственной экзаменационной комиссии.

3.2.3 Методика и критерии оценки ВКР приведены в фонде оценочных средств ГИА.

## 4 Список источников для подготовки к государственной итоговой аттестации

### 4.1 Основные источники

1. Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия. Ч. 1 : учебное пособие / Н. И. Филимонова, Б. Б. Кольцов ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2013. - 131, [2] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000178062.

2. Величко А. А. Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур. Ч. 2 : учебное пособие / А. А. Величко, Н. И. Филимонова ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2014. - 225, [1] с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000208144.

3. Драгунов В. П. Основы наноэлектроники : учебное пособие для вузов по направлению "Электроника и микроэлектроника", специальностям "Микроэлектроника и твердотельная электроника" и "Микросистемная техника" / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. - М., 2006. - 494 с. : ил.

4. Драгунов В. П. Наноструктуры: физика, технология, применение : учебное пособие / В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 354, [1] с. : ил..

5. Борисенко В. Е. Наноэлектроника : [учебное пособие для вузов по специальности "Микро- и наноэлектронные технологии и системы" и "Квантовые информационные системы"] / В. Е Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина. - М., 2011. - 223 с. : ил., граф., схемы, табл.

6. Maluf N. An introduction to microelectromechanical systems engineering / Nadim Maluf, Kirt Williams. - Boston, 2004. - xx, 283 p. : ill.. - Пер. загл.: Внедрение микроэлектромеханических систем.

7. Dziuban J. A. Bonding in Microsystem Technology [electronic resource] / / by Jan A. Dziuban. - Dordrecht :, 2006. : v.: digital // Springer e-books. - Режим доступа: http://dx.doi.org/10.1007/1-4020-4589-1.

8. Золь-гель технология микро- и нанокомпозитов : [учебное пособие по направлениям "Электроника и наноэлектроника" и др.] / В. А. Мошников [и др.] ; под ред. О. А. Шиловой. - Санкт-Петербург [и др.], 2013. - 292 с. : ил., табл.

### 4.2 Дополнительные источники

1. Лозовский В. Н. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность : [учебное пособие для вузов] / В. Н. Лозовский, Г. С. Константинова, С. В. Лозовский. - СПб. [и др.], 2008. - 327 с. : ил.

2. Миронов В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии : учебное пособие для вузов / В. Миронов ; Ин-т физики микроструктур. - М., 2005. - 143 с. : цв. ил.
3. Неволин В. К. Зондовые нанотехнологии в электронике : [учебное пособие для вузов по специальностям 210601 "Нанотехнология в электронике" и 210602 "Наноматериалы" направления подготовки 210600 "Нанотехнология" и по специальностям 210104 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" и 210108 "Микросистемная техника" направления 210100 "Электроника и микроэлектроника"] / В. Неволин. - М., 2006. - 159 с. : ил.
4. Драгунов В. П. Физика твердого тела. Основы наноэлектроники (квантовые проводники и углеродные нанотрубки) : учебное пособие / Драгунов В. П. ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2007. - 106, [2] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2007/dragun.pdf. - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".
5. Нанотехнологии в электронике / [Н. И. Боргардт, В. Н. Кукин, С. Н. Мазуренко и др.] ; под ред. Ю. А. Чаплыгина. - М., 2005. - 446 с. : ил.. - Авт. указаны в содерж..
6. Процессы микро- и нанотехнологии : учебное пособие для вузов по специальностям 200100 "Микроэлектроника и твердотельная электроника" и 202100 "Нанотехнология в электрике" / Т. И. Данилина и др. ; Томский гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. - Томск, 2005. - 314, 1] с.
7. Bhushan B. Springer Handbook of Nanotechnology / Bharat Bhushan, editor. - Berlin ;, 2007. - XLIV, 1916 p. : ill. + 1 CD-ROM (4 3/4 in.).. - Пер. загл.: Шпрингеровский справочник по нанотехнологии.
8. Гридчин В. А. Физика микросистем. Ч. 1 : [учебное пособие для вузов] / В. А. Гридчин, В. П. Драгунов ; [Новосиб. гос. техн. ун-т]. - Новосибирск, 2004. - 415 с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000031699.

### 4.3 Методическое обеспечение

1. Драгунов В. П. Микро- и наноэлектроника. Сборник задач и примеры их решения : учебное пособие / В. П. Драгунов, Д. И. Остертак ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2015. - 45, [3] с. : ил., табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000215042
2. Краснопевцев Е. А. Математические методы физики. Ортонормированные базисы функций : учебное пособие / Е. А. Краснопевцев ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2008. - 337 с. : ил.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000087368. - Инновационная образовательная программа НГТУ "Высокие технологии".
3. Каменская А. В. Основы технологии материалов микроэлектроники : учебно-методическое пособие / А. В. Каменская ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, 2010. - 94, [1] с.. - Режим доступа: http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2010/kamensk.pdf.
4. Выполнение и организация защит выпускных квалификационных работ студентами: методические указания. / Новосиб. гос. техн. университет, состав. Ю. В. Никитин, Т. Ю. Сурнина, О. А. Винникова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – 45 с.
5. Методические указания по подготовке, оформлению и защите магистерской диссертации для направлений подготовки: 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника», 28.04.01 «Нанотехнология и микросистемная техника».– Новосиб. гос. техн. университет, состав. А.С. Бердинский, А.В. Каменская, Т.С. Романова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 18 с.
6. Выполнение и организация защит выпускных квалификационных работ студентами: методические указания. / Новосиб. гос. техн. университет, состав. Г.А. Дегтярь, М.Ю. Целебровская. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 27 с.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра Полупроводниковых приборов и микроэлектроники

"УТВЕРЖДАЮ"
Первый проректор
_____ Т.И. Расторгуев
«__» _____ 2015 г.

# ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

# ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ

Направление подготовки: 11.04.04 Электроника и наноэлектроника

Направленность (профиль): Микро- и наноэлектроника

Основной вид деятельности: научно-исследовательская

Квалификация: Магистр

Форма обучения: очная

Год начала подготовки по образовательной программе: 2014

Новосибирск 2015

## 1 Паспорт государственного экзамена

### 1.1 Обобщенная структура государственного экзамена

Обобщенная структура государственного экзамена приведена в таблице 1.1.1.

Таблица 1.1.1

| Коды компетенций | Показатели сформированности | Вопросы государственного экзамена |
|---|---|---|
| **ОПК.1** | применять методы анализа и обработки экспериментальных данных, систематизации научно-технической информации | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ОПК.4** | физическую, химико-физическую и технологическую сущность процессов, протекающих при изготовлении микросистем; производственную гигиену: чистоту материалов и помещений; ЕСТД и её применение | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ОПК.4** | основные направления развития микро- и наноэлектроники; основные типы квантоворазмерных наноструктур (квантовые точки, ямы, проволоки, сверхрешетки), особенности их электронного спектра и эффекты размерного квантования | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ОПК.4** | применение систем низкой размерности в современной электронике | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ОПК.4** | проводить сквозное конструкторско-технологическое проектирование компонентов микросистемной техники, интеллектуальных микросистем, сенсоров и актюаторов | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ОПК.4** | применять полученные знания для объяснения работы и проектирования приборов наноэлектроники, использующих квантово-размерные эффекты | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ОПК.4** | прогнозировать изменение свойств объектов при изменении внешних условий или воздействий | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ОПК.4** | строить математические модели расчета параметров систем низкой размерности; осуществлять выбор значений необходимых параметров для конкретных типов объектов; выполнять анализ основных характеристик этих систем | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ПК.1** | знать основные тенденции и перспективы развития электроники и наноэлектроники | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических |

| | | |
|---|---|---|
| | | единиц |
| **ПК.1** | знать основные теоретические методы и средства, используемые при решении задач научных исследований | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ПК.1** | уметь выбирать теоретические методы и средства для решения задач научных исследований | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ПК.1** | уметь формулировать цели и задачи научных исследований | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ПК.2** | методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации электронной компонентной базы с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ПК.3** | знать основные параметры современного оборудования и приборов, используемых при исследовании характеристик и изготовлении изделий электроники и наноэлектроники | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ПК.3** | знать основные этапы проектирования электронной компонентной базы | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ПК.3** | уметь ориентироваться в современном оборудовании и приборах для осуществления выбора под свои профессиональные задачи | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ПК.4** | основные виды и свойства нанообъектов, наноматериалов, устройств и приборов на их основе, типовые технологические процессы их получения, элементную базу, а также типовое оборудование | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ПК.4** | основы метрологии, основные методы и средства измерения физических величин | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ПК.4** | осуществлять постановку целей и задач работы при выполнении научных исследований и организации | Вопросы 1;2;3 по |

| | | |
|---|---|---|
| | опытного промышленного производства | содержанию дидактических единиц |
| **ПК.4** | применять современные методы исследования для синтеза и анализа материалов и компонентов микро- и. наносистемной техники | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ПК.4** | выбирать практические варианты технологии изготовления элементной базы микроэлектроники и микросистем для решения инженерных задач | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ПК.4** | получать и обрабатывать необходимую для организации научных исследований и промышленного производства информацию, в том числе экономическую | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ПК.5** | математический аппарат и численные методы для моделирования физико-химических процессов и явлений, лежащих в основе нанотехнологии | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ПК.5** | основы анализа научно-технической информации из литературных и патентных источников | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ПК.5** | уметь проводить анализ научно-технической информации в своей профессиональной области | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |
| **ПК.5** | разрабатывать физические и математические модели приборов и устройств электроники и наноэлектроники, разрабатывать технологические маршруты их изготовления | Вопросы 1;2;3 по содержанию дидактических единиц |

**1.2 Пример билета**

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет радиотехники и электроники

**Экзаменационный билет № 1**
к государственному экзамену по направлению 11.04.04 Электроника и наноэлектроника

1. Дифракция медленных электронов (ДМЭ-LEED).
2. Энергетический спектр и волновые функции линейного, плоского и сферического осциллятора
3. Поверхностная микромашинная технология. Эффект прилипания. Сверхкритическая сушка, использование самосборочных слоев

Утверждаю: зав. кафедрой ППиМЭ В.А. Гайслер
(подпись)
(дата)

**1.3 Методика оценки**

Билеты к экзамену формируются из вопросов, представленных в пункте 1.5. Билет содержит три теоретических вопроса. 1 Первый, второй и третий вопросы билета выбираются случайным образом из перечня вопросов в соответствии с тематикой дидактических единиц «Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных структур», «Специальные главы микро- и наноэлектроники», «Материалы и процессы микросистемной техники». Экзамен проводится очно в письменной форме по билетам, с обязательными ответами на листах бумаги со штампом факультета и последующим выступлением в устной форме по содержанию письменных ответов и ответов на дополнительные вопросы. Итоговая оценка за государственный экзамен выставляется в соответствии с критериями, приведенными в п. 1.4.

**1.4 Критерии оценки**

По результатам ответов студента на вопросы билета и дополнительные вопросы (уточняющие суть ответа) государственная экзаменационная комиссия оценивает сформированность компетенций на разных уровнях.

Соответствие уровней сформированности компетенций, критериев оценки и баллов по 100-бальной шкале приведено в таблице 1.4.1.

Таблица 1.4.1

| **Критерии оценки** | **Уровень сформированности компетенций** | **Диапазон баллов** |
|---|---|---|
| студент правильно и полностью ответил на три вопроса экзаменационного билета, а также дополнительные вопросы, уточняющие суть ответа, чем показал углубленные знания | Продвинутый | 87-100 |
| студент правильно ответил на все вопросы, но недостаточно развернуто или ответил минимум на два вопроса билета абсолютно правильно и достаточно развернуто | Базовый | 73-86 |
| студент в целом правильно ответил минимум на два вопроса билета, знания не структурированы и поверхностны | Пороговый | 50-72 |

| | | |
|---|---|---|
| студент правильно ответил не более чем на один вопрос экзаменационного билета | Ниже порогового | 0-50 |

Итоговая оценка по государственному экзамену выставляется по 100-балльной шкале, по буквенной шкале ECTS и в традиционной форме (в соответствии с действующим Положением о балльно-рейтинговой системе оценки достижений студентов НГТУ).

### 1.5 Примерный перечень теоретических вопросов

**1. Дидактическая единица «Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных структур»**

1 Методы определения типа электропроводности полупроводников (термоЭДС)
2.Двухзондовый метод измерения.
3.Четырехзондовый метод измерения.
4 Метод Ван-дер-Пау.
5.Методы определения кинетических параметров полупроводников: концентрации и подвижность (эффект Холла)
6.Оптические свойства полупроводников и диэлектриков. Коэффициенты поглощения и отражения.
7 Основные механизмы поглощения в полупроводниках
8 Источники и приемники излучения, применяемые в монохроматорах (параметры).
9 Измерение оптических параметров полупроводников. Принципы монохроматизации (фильтры, призменные и решеточные монохроматоры)
10.Фурье спектрометр. Физические принципы работы. Блок схема
11. Обратная решетка и сфера Эвальда.
12. Структура чистых поверхностей полупроводниковых кристаллов (сверхструктура) Поверхности (100) и (111) кремния.
13 Дефекты поверхностной структуры.
14. Дифракция медленных электронов (ДМЭ-LEED).
15. Дифракция быстрых электронов на отражение (ДБЭ-RHEED) Осцилляции центрального рефлекса.
16. Физические основы атомно-силовой микроскопии. Контактный и полуконтактный методы.
17. Методы исследования распределения магнитных и электрических полей.
18.Сканеры, кантилеверы, аппаратура.
19.Физические основы сканирующей туннельной микроскопии; методы получения атомного разрешения.
20. Измерение распределения потенциала и емкости
21. Обратное резерфордовское рассеяние.
22. Рассеяние ионов низких энергий (РМИ-LEIS).
23.Кинематика упругих столкновений. Сечение и прицельный параметр.
24.Особенности рассеяния медленных ионов.
25. Каналирование. Физические принципы и методы измерения.
26. Вторично-ионная масс-спектрометрия (ВИМС-SIMS). Физические основы метода ВИМС.
27.Влияние первичных ионов. Оборудование ВИМС. Профили концентраций элементов по глубине. Разрешение по глубине при послойном анализе. Применение метода ВИМС
28. Методы исследования состава поверхности. Методы электронной спектроскопии.
29.Энергетический спектр вторичных электронов. Глубина, с которой получается информация.
30. Электронные спектрометры. Общие характеристики. Анализатор с задерживающим полем (АЗП).

31.Электронная оже-спектроскопия (ЭОС). Механизм эмиссии оже-электронов.. Глубина выхода оже-электронов.
32.Экспериментальная техника для ЭОС. Количественный анализ. Применение оже-спектроскопии.
33.Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС-XPS). Физические основы метода.
34. Источники фотонов. Требования к энергетическому разрешению. Энергоанализаторы электронов.
35. Ультрафиолетовая спектроскопия (УФЭС UPS).
36. Растровая электронная микроскопия.
37.Просвечивающая электронная микроскопия.
38.Условия дифракции Вульфа-Брэгга и Лауэ.
39. Сравнительный компьютерный анализ упорядоченных наноструктур:
40.Фурье-анализ, вейвлет и фрактальная размерность;
40.Методы выявления квантово-размерных эффектов
41.Рамановское рассеяние света,
42.Люминесценция, длинноволновая фотопроводимость

**2 . Дидактическая единица « Специальные главы микро- и наноэлектроники»**
1. Состояние и перспективы развития наноэлектроники.
2. Классификация гетеропереходов и сверхрешеток.
3. Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке.
4. Интерференционные эффекты при надбарьерном пролете частиц.
5. Туннелирование через потенциальный барьер.
6. Частица в прямоугольной потенциальной яме.
7. Особенности прохождения частиц над потенциальной ямой.
8. Энергетический спектр и волновые функции линейного, плоского и сферического осциллятора.
9. Энергетические состояния в прямоугольной квантовой яме сложной формы.
10. Условия наблюдения квантовых размерных эффектов
11. Структура со сдвоенной потенциальной ямой.
12. Прохождение частиц через многобарьерные структуры.
13. Энергетический спектр сверхрешеток. 1. Распределение плотности состояний в 3D-системах.
14. Распределение плотности состояний в 3D-системах.

15. Особенности распределения плотности состояний в 2D -системах.
16. Распределение плотности состояний в 1D - и 0D - системах.
17. Зависимость положения уровня Ферми от концентрации и толщины пленки в 2D - системах.
18. Локализованные состояния. Влияние дополнительного пространственного ограничения на энергетический спектр связанных состояний в одномерной - образной потенциальной яме.
19. Особенности энергетического спектра мелких примесных состояний в системах пониженной размерности.
20. Влияние однородного электрического поля на энергетический спектр параболической потенциальной ямы.
21. Интерференционная передислокация электронной плотности в тунельно-связанных квантовых ямах. Инвертор на эффекте передислокации волновых функций.
22. Резонансное туннелирование электронов (РТД).
23. ВАХ РТД на ДБКС.
24. Оценка максимального тока и отрицательной дифференциальной проводимости РТД на ДБКС

25. Баллистический транспорт квантовых нитей. Кондактанс идеального квантового проводника в баллистическом режиме. Формула Ландауэра.
26. Приборы на основе баллистического транспорта. Коммутатор пучка баллистических электронов. Квантовый интерференционный транзистор.
27. Физические основы и практическое применение магнитоэлектроники.
28. Особенности ВАХ "реальных" ДБКС и сверхрешёток.

**3 . Дидактическая единица «Материалы и процессы микросистемной техники»**
1. Основные материалы, применяемые в технологии МСТ, их назначение и характеристики.
2. Технологии изотропного и анизотропного профилирования кремния: влажные и сухие методы профилирования.
3. Микро и наноэлектромеханические балочные резонаторы на основе кремния.
4. Поликремний: технология нанесения пленок. Остаточные механические напряжения. Пример использования поликремния в изготовлении электростатического микромотора.
5. Пористый кремний: технология получения пленок. Примеры использования.
6. Пленки диоксида кремния ФСС и БСС: способы получения. Остаточные механические напряжения. Использование данных пленок.
7. SOG-пленки: материалы для пленок, способы нанесения, назначение, остаточные напряжения.
8. Пленки poly-SiGe, poly-Ge: способы нанесения, назначение, остаточные напряжения.
9. Проводящие пленки в технологии МСТ и ИС: технологии нанесения. Примеры использования в элементах МСТ и ИС.
10. Пленки SiC: способы нанесения, назначение. Продольный микрорезонатор на пленке поли-SiC. Балочный наномеханический резонатор на пленке 3C-SiC.
11. Алмазные пленки в технологии МСТ: способы нанесения, назначение. Продольный микрорезонатор на алмазной пленке.
12. Пленки GaAs, InP и других $A_{III}B_{V}$ материалов: способы нанесения, назначение. Балочный наномеханический резонатор на пленке GaAs.
13. PZT керамики: разновидности, способы получения, применение.
14. Полимерные материалы в технологии МСТ: полиимид, SU-8, парилен. Примеры использования.
15. Базовые технологические процессы в технологии МСТ.
16. Двустронняя фотолитография: назначение, примеры использования.
17. Влажное анизотропное травление кремния: травители, механизм травления, примеры использования.
18. Зависимость скорости травления от концентрации дырок в кремнии, p+-стоп травление. Примеры использования.
19. Технология диодного стоп травления. Вольт-амперная характеристика процесса травления. Примеры использования.
20. Глубокое реактивное ионное травление (ГРИТ). Бош-процесс. Криогенное травление. Зависимость скорости травления от аспектного отношения. Эффект «выемки».
21. Оборудование для глубокого реактивного ионного травления. Примеры травления материалов методом ГРИТ. Примеры конструкций получаемых методом ГРИТ.
22. Технология электростатического соединения кремний-стекло. Назначение, примеры использования.
23. Технология прямого сращивания кремниевых пластин. Назначение, примеры использования.
24. Технология химико-механической полировки. Назначение, примеры использования.
25. Технология получения пленок и структур методом Sol-Gel-процесса. Назначение, примеры использования.
26. Технологии гальванического осаждения и формовки. LIGA-процесс. Назначение, примеры использования.

27. Поверхностная микромашинная технология. Эффект прилипания. Сверхкритическая сушка, использование самосборочных слоев.
28. Фоторезист SU-8 и фоточувствительные стекла: использование этих материалов для изготовления микроканалов.
29. EFAB процесс: используемые материалы и конструкции.
30. Нелитографические методы микромашиной технологии: лазерная микрообработка, электроэрозионная микрообработка, ультразвуковая микрообработка, трафаретная микропечать.
31. Микроконтактная печать.
32. Технология наноимпринт литографии. Термо- и UV-наноимпринт литография.
33. Материалы для поверхностной микромашинной технологии. Технология изготовления консольной балки из поликремния.
34. Комбинированная технология прямого сращивания кремниевых пластин и ГРИТ для создания МСТ структур.
35. Комбинированная технология ГРИТ и КНИ для создания МСТ структур.
36. Комбинированная технология ГРИТ и металлизации для создания МСТ структур.

## 2 Паспорт выпускной квалификационной работы

### 2.1 Обобщенная структура защиты выпускной квалификационной работы (ВКР)

Обобщенная структура защиты ВКР приведена в таблице 2.1.1.

Таблица 2.1.1

| Коды компетенций | Показатели сформированности | Разделы и этапы ВКР |
|---|---|---|
| **ОК.1** | анализировать речь иностранного коллеги | Проведение совместных исследований |
| **ОК.1** | проводить публичную презентацию результатов профессиональной деятельности | Защита ВКР |
| **ОК.2** | умеет формировать работоспособную команду для реализации профессиональных функций и создавать эффективную коммуникационную систему | Работа в научно-исследовательском коллективе |
| **ОК.2** | осуществлять инновационное проектирование | Анализ перспективных исследований |
| **ОК.3** | владеть навыками развития своего интеллектуального и общекультурного уровня в области электроники | Защита ВКР |
| **ОК.4** | идентифицировать риски | Аналитический обзор литературы |
| **ОПК.1** | адекватно ставить задачи исследования и оптимизации сложных объектов на основе методов математического моделирования | Аналитический обзор литературы |
| **ОПК.1** | осуществлять оценку возможностей и обоснованный выбор типа средства отображения информации в соответствии с решаемыми задачами | Аналитический обзор литературы |
| **ОПК.1** | применять методы анализа и обработки экспериментальных данных, систематизации научно-технической информации | Цели и задачи исследования ВКР |

| | | |
|---|---|---|
| **ОПК.1** | осуществлять формализацию и алгоритмизацию функционирования исследуемой системы | Исследовательская часть ВКР |
| **ОПК.2** | технологические нормы проектирования электронной компонентной базы | Исследовательская часть ВКР |
| **ОПК.2** | уметь представлять новые идеи в научном коллективе | Защита ВКР |
| **ОПК.2** | адаптировать топологию элемента компонентной базы электроники под технологические нормы | Исследовательская часть ВКР |
| **ОПК.2** | понимать суть моделируемых эффектов на основе графического представления информации; представлять результаты решения задач, описание расчётно-графического задания в удобной форме | Подготовка пояснительной записки ВКР |
| **ОПК.3** | передовой отечественный и зарубежный научный опыт в профессиональной сфере деятельности | Аналитический обзор литературы |
| **ОПК.4** | физическую, химико-физическую и технологическую сущность процессов, протекающих при изготовлении микросистем; производственную гигиену: чистоту материалов и помещений; ЕСТД и её применение | Исследовательская часть ВКР |
| **ОПК.4** | проводить сквозное конструкторско-технологическое проектирование компонентов микросистемной техники, интеллектуальных микросистем, сенсоров и актюаторов | Исследовательская часть ВКР |
| **ОПК.4** | осуществлять структурное представление и поведенческое моделирование электронных приборов | Исследовательская часть ВКР |
| **ОПК.5** | правила оформления и представления результатов своей профессиональной деятельности | Оформление пояснительной записки ВКР |
| **ОПК.5** | грамотно излагать результаты выполненной работы | Защита ВКР |
| **ПК.1** | уметь выбирать теоретические методы и средства для решения задач научных исследований | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.1** | осуществлять выбор структуры микропроцессорной системы в соответствии с поставленной задачей | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.1** | выбирать практические варианты сенсоров и актюаторов для решения инженерных задач | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.2** | основы автоматического проектирования электронных приборов | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.2** | основные типы электронных устройств обработки первичной информации | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.2** | принципы построения моделей верификации цифровых электрических схем | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.2** | способы описания основных частей современных цифровых электрических схем с помощью | Исследовательская |

| | | |
|---|---|---|
| | специализированных языков описания на уровне RTL | часть ВКР |
| **ПК.2** | методы расчета, проектирования, конструирования и модернизации электронной компонентной базы с использованием систем автоматизированного проектирования и компьютерных средств | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.2** | основные виды преобразования аналоговых сигналов в цифровые | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.2** | проводить сквозное конструкторско-технологическое проектирование интеллектуальных сенсоров | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.2** | строить формальные математические модели реальных объектов на основе экспериментального исследования их характеристик | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.2** | разрабатывать модель верификации цифровой электрической схемы по ее спецификации | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.2** | создавать RTL описание цифровой электрической схемы по ее спецификации | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.2** | использовать известные алгоритмы ЦОС для решения конкретных задач по обработке первичной информации | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.2** | использовать современные информационные и компьютерные технологии, средства коммуникаций, способствующие повышению эффективности научной и образовательной сфер деятельности | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.2** | использовать микропроцессорные системы при решении конкретных задач автоматизации эксперимента и управления производственными процессами | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.2** | использовать современную элементную базу при решении конкретных задач по обработке первичной информации | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.3** | применять типовые структурные схемы для новых проектных решений | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.4** | алгоритмы проведения многофакторных экспериментов при построении математических моделей сложных объектов | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.4** | основные виды и свойства нанообъектов, наноматериалов, устройств и приборов на их основе, типовые технологические процессы их получения, элементную базу, а также типовое оборудование | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.4** | применяемые решения для передачи информации между асинхронными доменами цифровых электрических схем | Исследовательская часть ВКР |

| | | |
|---|---|---|
| **ПК.4** | физические принципы действия механических, тепловых, магнитных, термических, химических актюаторов | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.4** | анализировать конструкции актюаторов, количественно описывать характеристики актюаторов | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.4** | использовать приемы ослабления действия влияющих факторов для создания микросистем с необходимыми метрологическими характеристиками | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.4** | определять параметры физических моделей объектов на основе экспериментального исследования их характеристик | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.4** | осуществлять постановку целей и задач работы при выполнении научных исследований и организации опытного промышленного производства | Цели и задачи исследования ВКР |
| **ПК.4** | применять современные методы исследования для синтеза и анализа материалов и компонентов микро- и. наносистемной техники | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.4** | выбирать практические варианты технологии изготовления элементной базы микроэлектроники и микросистем для решения инженерных задач | Цели и задачи исследования ВКР |
| **ПК.4** | получать и обрабатывать необходимую для организации научных исследований и промышленного производства информацию, в том числе экономическую | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.4** | проектировать сенсоры механических, тепловых и магнитных величин с учетом особенностей измеряемых величин | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.5** | конечно-разностные сеточные методы, используемые в моделировании | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.5** | математический аппарат и численные методы для моделирования физико-химических процессов и явлений, лежащих в основе нанотехнологии | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.5** | основные влияющие факторы сенсоров и пути ослабления их действия | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.5** | основы метода конечных элементов, применительно к системам моделирования | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.5** | проводить численный анализ моделей - алгебраических уравнений и их систем и использовать результаты моделирования для совершенствования наноэлементов и наносистем | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.5** | проводить численный анализ моделей - дифференциальных уравнений и их систем и использовать результаты моделирования для совершенствования наноэлементов и наносистем | Исследовательская часть ВКР |

| | | |
|---|---|---|
| **ПК.5** | уметь проводить анализ научно-технической информации в своей профессиональной области | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.5** | разрабатывать физические и математические модели приборов и устройств электроники и наноэлектроники, разрабатывать технологические маршруты их изготовления | Исследовательская часть ВКР |
| **ПК.17** | знать основы проведения технико-экономического и функционально-стоимостного анализа рыночной эффективности создаваемого продукта | Защита ВКР |

**2.2 Структура выпускной квалификационной работы**

Выпускная квалификационная работа содержит следующие разделы:

- задание на выпускную квалификационную работу,
- аннотация,
- введение (включающее актуальность выбранной тематики),
- цели и задачи исследования,
- аналитический обзор литературы,
- исследовательская (проектная) часть,
- заключение,
- список использованных источников (в том числе источники на иностранном языке),
- приложения (при необходимости).

**2.3 Методика оценки выпускной квалификационной работы**

2.3.1 Выпускная квалификационная работа оценивается на заседании ГЭК. Члены ГЭК оценивают содержание работы и ее защиту, включающую доклад и ответы на вопросы, по критериям, приведенным в разделе 2.4.

2.3.2 Согласованная итоговая оценка выставляется на основании оценок членов ГЭК с учетом оценки руководителя работы. Итоговая оценка по результатам защиты выпускной квалификационной работы выставляется по 100-балльной шкале, по буквенной шкале ECTS и в традиционной форме (в соответствии с действующим Положением о балльно-рейтинговой системе оценки достижений студентов НГТУ).

**2.4 Критерии оценки ВКР**

Критерии оценки выпускной квалификационной работы приведены в таблице 2.4.1. На основании приведенных критериев при оценке ВКР делается вывод о сформированности соответствующих компетенций на разных уровнях.

Таблица 2.4.1

| **Критерии оценки ВКР** | **Уровень сформированности компетенций** | **Диапазон баллов** |
|---|---|---|
| • структура и оформление ВКР полностью соответствует всем предъявляемыми требованиями<br>• исследование проведено глубоко и полно, тема раскрыта<br>• в работе отражены и обоснованы положения, выводы, подтверждены актуальность и значимость работы, аргументация полученных выводов достаточная<br>• отзыв руководителя не содержит замечаний<br>• представление работы в устном докладе полностью отражает полученные результаты, иллюстративный | Продвинутый | 87-100 |

| | | |
|---|---|---|
| материал отличается наглядностью<br>• ответы на вопросы комиссии сформулированы четко, с достаточной аргументацией и свидетельствуют о полном владении материалом исследования | | |
| • структура и оформление ВКР отвечает большинству предъявляемых требований<br>• исследование проведено в полном объеме, тема раскрыта<br>• в работе отражены и обоснованы положения, выводы, подтверждены актуальность и значимость работы, но аргументация полученных выводов не достаточно полная<br>• отзыв руководителя не содержит принципиальных замечаний<br>• представление работы в устном докладе отражает основные полученные результаты, иллюстративный материал отличается наглядностью<br>• ответы на вопросы комиссии сформулированы четко, но с недостаточной аргументацией | Базовый | 73-86 |
| • структура и оформление ВКР отвечает большинству предъявляемых требований<br>• тема исследования раскрыта не достаточно полно<br>• выводы и положения в работе недостаточно обоснованы, не подтверждены актуальность и значимость работы<br>• отзыв руководителя содержит не более двух принципиальных замечаний<br>• в устном докладе представлены основные полученные результаты, но есть недочеты в иллюстративном материале<br>• ответы на вопросы комиссии свидетельствуют о недостаточно полном владении материалом исследования | Пороговый | 50-72 |
| • структура и оформление ВКР не отвечает большинству предъявляемых требований<br>• тема исследования не раскрыта<br>• выводы и положения в работе недостаточно обоснованы, не подтверждены актуальность и значимость работы<br>• отзыв руководителя содержит более двух принципиальных замечаний<br>• представление работы в устном докладе не отражает основные полученные результаты, есть существенные недочеты в иллюстративном материале<br>• ответы на вопросы комиссии свидетельствуют о недостаточном владении материалом исследования | Ниже порогового | 0-50 |

Составитель _____ В.А. Гайслер
(подпись)

«_06___»_____02_____2015 г.