

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



“УТВЕРЖДАЮ”
Первый проректор
Г.И. Расторгуев
06 _____ 2017 г.

ПРОГРАММА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ

Направление подготовки: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Направленность (профиль): Микросистемная техника

Основной вид деятельности: Научно-исследовательская

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Год начала подготовки по образовательной программе: 2014

Новосибирск 2017

Программа государственной итоговой аттестации (ГИА) составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

ФГОС ВО утвержден приказом Минобрнауки России 06.03.15 №177 (зарегистрирован Минюстом России 31.03.15, регистрационный №36650)

Программу разработал:

д.ф-м.н., с.н.с. В.А. Гайслер



Программа обсуждена на заседании

кафедры Полупроводниковых приборов и микроэлектроники, протокол заседания кафедры № 5 от 20.06.2017 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 № 6 от 21.06.2017 г.

декан РЭФ:

д.т.н., профессор В.А. Хрусталеv



1 Обобщенная структура государственной итоговой аттестации

Государственная итоговая аттестация по направлению 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника (профиль: Микросистемная техника) 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 основы философских знаний для формирования мировоззренческой позиции		+
ОК.2	способность анализировать основные этапы и закономерности исторического развития общества для формирования гражданской позиции		+
ОК.3	способность использовать основы экономических знаний при оценке эффективности результатов деятельности в различных сферах		+
ОК.4	способность использовать основы правовых знаний в различных сферах деятельности		+
ОК.5	способность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия		+
ОК.6	способность работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные и культурные различия		+
ОК.7	способность к самоорганизации и самообразованию		+
ОК.8	способность использовать методы и средства физической культуры для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности		+
ОК.9	готовность пользоваться основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий		+
ОПК.1	способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	+	+
ОПК.2	способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат		+
ОПК.3	способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей	+	+
ОПК.4	готовность применять современные средства выполнения и редактирования изображений и чертежей и подготовки конструкторско-технологической документации		+
ОПК.5	способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных		+
ОПК.6	способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных,	+	+

	компьютерных и сетевых технологий		
ОПК.7	способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности		+
ОПК.8	способность использовать нормативные документы в своей деятельности		+
ОПК.9	способность использовать навыки работы с компьютером, владеть методами информационных технологий, соблюдать основные требования информационной безопасности		+
ПК.1	способность проводить физико-математическое моделирование исследуемых процессов нанотехнологии и объектов нано- и микросистемной техники с использованием современных компьютерных технологий	+	+
ПК.2	готовность проводить экспериментальные исследования по синтезу и анализу материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	+	+
ПК.3	готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций		+
ПК.4	способность проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектов		+
ПК.5	готовность рассчитывать и проектировать компоненты нано- и микросистемной техники		+
ПК.8	готовность использовать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов, компонентов нано- и микросистемной техники		+

2Содержание и порядок организации государственного экзамена

2.1Содержание 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 контролируемых 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 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника (профиль:Микросистемная техника)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.

2.2.2Государственный 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. 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.
2. Остертак Д. И. Микроэлектромеханика : учеб. пособие / Д. И. Остертак. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. - 120 с. - 60 экз. - ISBN 978-5-7782-2901-3.
3. Зебрев Г. И. Физические основы кремниевой нанoeлектроники : учебное пособие. – М. : Бином. Лаборатория знаний, 2011.
4. Филимонова Н. И. Методы исследования микроэлектронных и нанoeлектронных 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.

5. Величко А. А. Методы исследования микроэлектронных и нанoeлектронных 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.
6. Драгунов В. П. Основы нанoeлектроники : 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.
7. 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.
8. Борисенко В. Е. Нанoeлектроника : [учебное пособие для вузов по специальности "Микро- и нанoeлектронные технологии и системы" и "Квантовые информационные системы"] / В. Е. Борисенко, А. И. Воробьева, Е. А. Уткина. - М., 2011. - 223 с. : ил., граф., схемы, табл.
9. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. - М. : Физматлит, 2007, изд. 2-е, испр., 414 с. ил.
10. Боргардт Н. И., Кукин В. Н., Мазуренко С. Н. и др., под ред. Чаплыгина Ю. А. Нанотехнологии в электронике. - М. : Техносфера, 2005, 446 с. ил.
11. Пул Ч., Оуэнс Ф., пер. с англ. под ред. Головина Ю. И.; доп. Лучинина В. В. Нанотехнологии : учебное пособие по направлению "Нанотехнологии". М. : Техносфера, 2005, 2-е, доп. изд., 334 с. ил.
12. Кузнецов Н. Т. Основы нанотехнологии. - Москва : Бином, 2014.
13. Илюшин В. А., Величко А. А. Процессы нанотехнологии : учебное пособие. - Новосибирск : НГТУ, 2004, 107 с. ил. Мультимедиа http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000029072
14. Maluf N. An introduction to microelectromechanical systems engineering / Nadim Maluf, Kirt Williams. - Boston, 2004. - xx, 283 p. : ill.. - Пер. загл.: Внедрение микроэлектромеханических систем.
15. 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>.
16. Золь-гель технология микро- и нанокомполитов : [учебное пособие по направлениям "Электроника и нанoeлектроника" 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 нанoeлектроники (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. Бакуева Л. Г. [и др.] ; под общ. ред. Ильина В. И., Шика А. Я. Физика низкоразмерных систем : учебное пособие для вузов по направлению "Техническая физика" / Издательство СПб. : Наука , 2001, 155 с. ил.

4.3 Методическое обеспечение

1. Драгунов В. П. Микро- и нанoeлектроника. 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 нанoeлектроника», 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.

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



“УТВЕРЖДАЮ”
Первый проректор
Г.И. Расторгуев
06 2017 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ

Направление подготовки: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Направленность (профиль): Микросистемная техника

Основной вид деятельности: Научно-исследовательская

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Год начала подготовки по образовательной программе: 2014

Новосибирск 2017

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	знать основные законы физики, являющиеся базовыми для решения задач профессиональной деятельности	1-3
ОПК.1	иметь представление о связи физико-химических свойств твердых тел с их внутренней структурой	4-6
ОПК.1	знать основные физические законы и явления	7-9
ОПК.1	знать базовые положения фундаментальных разделов математики в объеме, необходимом для владения математическим аппаратом для обработки информации и анализа данных в области профессиональной деятельности	10-12
ОПК.3	знать эквивалентные схемы активных элементов	13-15
ОПК.3	Уметь прогнозировать изменение свойств элементов при изменении внешних условий и воздействии вредных факторов	16-18
ОПК.6	владеть персональным компьютером как средством управления информацией	19-21
ОПК.6	уметь осуществлять поиск информации в локальных и глобальных сетях	22-24
ПК.1	Знать основы классификации объектов нано- и микросистемной техники	25-27
ПК.1	знать физическую сущность процессов, протекающих в проводниковых, полупроводниковых, диэлектрических и магнитных материалах в различных условиях эксплуатации;	28-31
ПК.1	Знать физические принципы работы, физическую структуру, основы технологии изготовления и принципы построения интегральных микросхем и функциональных элементов	32-35
ПК.1	Владеть методами численного моделирования физико-химических процессов и явлений, лежащих в основе нанотехнологии	36-39
ПК.1	Знать физические принципы работы основных структур и компонентов нано- и микросистемной техники	40-43
ПК.1	Знать физико-математические и физико-химические модели процессов нанотехнологии	44-47
ПК.1	Знать математический аппарат и численные методы для моделирования физико-химических процессов и	48-51

	явлений, лежащих в основе нанотехнологии	
ПК.1	Знать основные принципы моделирования	52-55
ПК.1	Уметь составлять адекватные модели	56-59
ПК.2	знать основные методы и средства измерения физических величин	60-63
ПК.2	Знать классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории	64-67
ПК.2	Знать фундаментальные основы процессов синтеза материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	68-71
ПК.2	Знать основные виды и свойства наноматериалов, типовые технологические процессы их получения, а также типовое оборудование	72-74

1.2 Пример билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ Факультет радиотехники и электроники

Экзаменационный билет № 1

к государственному экзамену по направлению 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

1. Тензорезистивный эффект в полупроводниках. Тензор линейного пьезосопротивления. Матрица пьезосопротивления для кубических кристаллов.
2. Анизотропное травление кремния. Применение анизотропного травления. Зависимость скорости травления от концентрации примесей в кремнии р-типа проводимости.
3. Динамические свойства элементов в МЭМС: свободные колебания незатухающей системы, колебания механической системы с демпфированием.
4. Структура и функционирование микропроцессора.

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 четыре теоретических вопроса. Первый, второй, третий и четвертый вопросы билета выбираются случайным образом из перечня вопросов. 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 четыре 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 три 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-бальной 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. Тензорезистивный эффект в полупроводниках. Тензор линейного пьезосопротивления. Матрица пьезосопротивления для кубических кристаллов.
2. Проектирование топологии сенсора давления. Основные уравнения.
3. Сенсоры давления на сдвиговом эффекте. Конструкция и топология X-ducer (фирма Моторола).
4. Ёмкостной принцип преобразования. Преобразовательная характеристика емкостного сенсора давления с круглым упругим элементом.
5. Математическое описание пьезоэлектрического эффекта (прямого и обратного). Пьезоэлектрический конденсатор.
6. Акселерометры. Структура сенсора. Уравнение движения. Практический режим работы. Тензорезистивный акселерометр.
7. Диоды и транзисторы как сенсоры температуры.
8. Сенсоры на эффекте Холла. Характеристики, режимы работы, конструкция.
9. Сенсоры на эффекте магнитосопротивления. Основные характеристики, материалы, конструкция.
10. Магниторезисторы. Принцип действия, особенности характеристик, конструкция.
11. Система основных уравнений полупроводниковой электроники: плотность тока, уравнение на потенциал, уравнение электронейтральности.
12. Энергетические характеристики излучения. Фотометрические единицы излучения. Кривая видности.
13. Диффузия и дрейф в случае монополярной проводимости. Длина Дебая.

14. Токи в неосвещенном p-g переходе в условиях равновесия. Энергетическая диаграмма.
15. P-n переход при освещении. Токи, ЭДС холостого хода.
16. Общая схема расчета сенсора на эффекте фотопроводимости.
17. Подвижность электронов и дырок. Тепловая и дрейфовая скорость электронов и дырок.
18. Сенсоры влажности. Основные единицы измерения влажности. Связь между единицами измерения влажности.
19. Химические сенсоры на основе SnO_2 .
20. Кремний, как основной материал для сенсорной электроники. Основные технологические этапы получения кремниевых пластин. Контроль параметров кремниевых пластин.
21. Эпитаксия кремния из газовой фазы. Основы процессов массопереноса и химической кинетики. Легирование и автолегирование эпитаксиальных слоев.
22. Модель Дила-Гроува термического окисления. Перераспределение примеси на границе Si/SiO₂ при окислении.
23. Аналитическое описание диффузии из бесконечного и конечного источника примесей. Расчет режимов термической диффузии.
24. Технология и оборудование ионной имплантации.
25. Теоретические основы расчета профиля легирования при ионной имплантации.
26. Боковое рассеяние и эффект каналирования.
27. Расчет топологии диффузионных и ионно-легированных резисторов.
28. Контактная и проекционная фотолитография. Разрешающая способность фотолитографии.
29. Методы улучшения разрешающей способности фотолитографии.
30. Субмикронная литография. Рентгеновская, электронно-лучевая и ионная литография.
31. Изотропное травление кремния. Химическая кинетика травления кремния. Полирующие и селективные травители. Травление диоксида кремния.
32. Анизотропное травление кремния. Применение анизотропного травления. Зависимость скорости травления от концентрации примесей в кремнии p-типа проводимости.
33. Диодное стоп-травление.
34. Травление кремния в газовой фазе. Плазмохимическое травление. Примеры используемых газов и реакций, реализующихся при ПХТ.
35. CVD и плазмохимические процессы получения пленок поликремния, диоксида и нитрида кремния. Основные параметры осажденных пленок.
36. Химическое осаждение металлов из парогазовых смесей.
37. Испарение резистивным нагревом. Электронно-лучевое испарение. Источники с индукционным нагревом. Магнетронное распыление.
38. Сборочные операции в технологии МЭМС.
39. Динамические свойства элементов в МЭМС: свободные колебания незатухающей системы, колебания механической системы с демпфированием.
40. Вынужденные колебания механической системы, резонансная частота, фазовый сдвиг, добротность колебательной системы.
41. Демпфирование колебаний в МЭМС. Механизмы демпфирования в МЭМС. Вязкое демпфирование.
42. Демпфирование со сдвливающимся слоем для параллельных пластин. Демпфирование в случае «сжимаемого газа», частные случаи. Влияние демпфирования со сдвливающимся слоем на динамические характеристики колеблющихся систем.

43. Демпфирование со сдвигивающимся слоем для параллельных пластин. Демпфирование в случае «несжимаемого газа», частные случаи. Влияние амплитуды колебаний пластины на коэффициент демпфирования.
44. Демпфирование со скользящим слоем. Базовые уравнения. Модели демпфирования Куэтта и Стокса.
45. Достоинства и недостатки электростатических преобразователей. Принцип функционирования. Электростатические силы в МЭМС при постоянном напряжении и заряде. Влияние краевых эффектов на электрическую ёмкость и электростатические силы в МЭМС.
46. Плоскопараллельный актюатор. Эффект схлопывания и способы его устранения.
47. Встречно-штыревые актюаторы. Виды конструкций и эффекты неустойчивости в них. Эффект электростатического размягчения в МЭМС.
48. Транзистор с резонирующим затвором. Принцип работы интегрального микромеханического реле.
49. Принцип работы и виды электростатических роторных шаговых микродвигателей. Скребущий шаговый микродвигатель.
50. Электростатический сегнетоэлектрический планарный двигатель. Принцип работы электростатического микронасоса: прямой и инверсный режимы.
51. МЭМС гироскоп. Эффект Кориолиса. Принцип работы одноосного и двуосного гироскопа.
52. Достоинства и недостатки электромагнитных преобразователей. Принцип функционирования. Магнитное и магнито-электромагнитное преобразование энергии.
53. Магнитоэлектрический двигатель. Магнитный балочный актюатор.
54. Электромагнитный торсионный актюатор. Двуосный электромагнитный торсионный актюатор. Биустойчивый магнитный актюатор.
55. Достоинства и недостатки пьезоэлектрических преобразователей. Эффект пьезоэлектричества, математическое описание эффекта пьезоэлектричества. Коэффициент электромеханической связи.
56. Модель пьезоэлектрического балочного актюатора (пьезоэлектрический биморфный элемент). Пассивный и активный биморфные пьезоэлементы.
57. Запоминающие устройства. Уровни иерархии. Параметры.
58. Входные и выходные сигналы ЗУ. Классификация современных ЗУ.
59. Оперативные запоминающие устройства (RAM).
60. Структура 2D, 3D, 2DM.
61. Методы повышения быстродействия ЗУ.
62. Постоянные запоминающие устройства (ROM).
63. Микропроцессорные СБИС. Общие сведения.
64. Структура микропроцессорной системы.
65. Структура и функционирование микропроцессора.
66. Способы адресации. Адресное пространство памяти и внешних устройств.
67. Блок регистров. АЛУ микропроцессора.
68. Блок синхронизации и управления. Понятие командного и машинного циклов.
69. Система прерываний.
70. Интерфейсы микропроцессорной системы.
71. Шинные формирователи, буферные регистры.
72. Параллельные порты.

73. UART.

74. Последовательные интерфейсы SPI и I²C.

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	уметь аргументировано выстраивать доказательства, логику понимания актуальных профессиональных и нравственных проблем	защита ВКР (устный доклад)
ОК.2	знать общие закономерности и национальные особенности развития Российского государства и общества	введение (включающее актуальность выбранной тематики) аналитический обзор литературы
ОК.3	знать подходы к формированию производственных затрат на изготовление продукции (работ, услуг)	исследовательская (проектная) часть
ОК.4	знать права и обязанности гражданина РФ	исследовательская (проектная) часть
ОК.5	владеть навыками публичного выступления, устной презентации результатов профессиональной деятельности на русском и иностранном языке	защита ВКР (устный доклад)
ОК.5	уметь осуществлять деловую переписку на русском языке	исследовательская (проектная) часть
ОК.5	уметь логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь в сфере профессиональной деятельности на русском и иностранном языке	защита ВКР (устный доклад)
ОК.6	уметь подбирать партнеров для эффективной работы в команде	исследовательская (проектная) часть
ОК.7	знать траектории саморазвития и самообразования в течение всей жизни	исследовательская (проектная) часть
ОК.7	знать особенности профессионального развития личности	защита ВКР (устный доклад)
ОК.8	знать основы здорового образа жизни	защита ВКР (устный доклад)
ОК.9	знать проблемы экологии	исследовательская (проектная) часть
ОПК.1	знать универсальность математических методов в познании окружающего мира	исследовательская (проектная) часть
ОПК.1	знать основные законы физики, являющиеся базовыми для решения задач профессиональной	исследовательская (проектная) часть

	деятельности	
ОПК.1	Знать основные законы естественнонаучных дисциплин (математика, физика, химия, биология и другие смежные дисциплины)	исследовательская (проектная) часть
ОПК.1	знать основные физические законы и явления	исследовательская (проектная) часть
ОПК.1	знать зависимость физических свойств от степени неупорядоченности	исследовательская (проектная) часть
ОПК.1	Владеть методами и средствами естественнонаучных дисциплин	исследовательская (проектная) часть
ОПК.1	уметь применять основные методы математического аппарата в математических моделях объектов и процессов	исследовательская (проектная) часть
ОПК.1	уметь применять статистический подход к исследованию процессов и решению задач	исследовательская (проектная) часть
ОПК.1	Уметь применять знания естественнонаучных дисциплин для решения профессиональных задач	исследовательская (проектная) часть
ОПК.1	уметь применять основные законы и принципы физики в стандартных и сходных ситуациях	исследовательская (проектная) часть
ОПК.1	уметь описывать и качественно объяснять состояния в твердом теле	исследовательская (проектная) часть
ОПК.2	знать свойства различных групп материалов: диэлектриков, полупроводников, проводников, магнитных материалов	аналитический обзор литературы
ОПК.2	знать классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории	аналитический обзор литературы
ОПК.2	базовые знания фундаментальных разделов физики в объеме, необходимом для освоения физических основ в области профессиональной деятельности	аналитический обзор литературы
ОПК.2	знать основные математические методы, применяемые в различных разделах физики	аналитический обзор литературы
ОПК.2	Знать физико-математические модели процессов в объеме и на поверхности полупроводниковых материалов	аналитический обзор литературы
ОПК.2	Уметь осуществлять постановку целей и задач работы при выполнении научных исследований и организации опытно-промышленного производства	введение (включающее актуальность выбранной тематики) аналитический обзор литературы цели и задачи исследования
ОПК.2	Владеть навыками работы с современным исследовательским оборудованием	исследовательская (проектная) часть

ОПК.2	выбирать простейшие модели физических объектов и процессов	исследовательская (проектная) часть
ОПК.2	уметь строить теоретические модели физических явлений, делать при этом необходимые допущения и оценивать область применимости различных моделей, планировать простые физические эксперименты и выполнять физические измерения	исследовательская (проектная) часть
ОПК.3	Знать особенности характеристик полупроводниковых элементов	исследовательская (проектная) часть
ОПК.3	знать основы теории электромагнитного поля	исследовательская (проектная) часть
ОПК.4	знать элементы начертательной геометрии и инженерной графики, геометрическое моделирование, программные средства компьютерной графики	исследовательская (проектная) часть
ОПК.4	уметь применять интерактивные графические системы для выполнения и редактирования изображений и чертежей	оформление ВКР
ОПК.5	знать методы обработки экспериментальных данных современными программными пакетами	исследовательская (проектная) часть
ОПК.6	знать правовые основы информационной безопасности и принципы защиты авторского права на программные продукты	аналитический обзор литературы исследовательская (проектная) часть
ОПК.6	уметь осуществлять поиск информации в локальных и глобальных сетях	аналитический обзор литературы
ОПК.6	уметь применять основные методы, способы и средства получения, хранения и переработки информации с помощью компьютеров и компьютерных средств	аналитический обзор литературы
ОПК.6	уметь пользоваться наиболее распространенными офисными и математическими пакетами прикладных программ	оформление ВКР
ОПК.6	владеть персональным компьютером как средством управления информацией	аналитический обзор литературы исследовательская (проектная) часть
ОПК.6	уметь осуществлять поиск информации в локальных и глобальных сетях	аналитический обзор литературы
ОПК.6	уметь использовать специализированные программные средства при решении профессиональных задач	исследовательская (проектная) часть
ОПК.6	уметь оценивать состояние и тенденции развития информационных технологий и информатики в современном обществе	аналитический обзор литературы
ОПК.6	уметь использовать языки и системы программирования для решения профессиональных задач	исследовательская (проектная) часть

ОПК.7	Иметь представление о перспективных направлениях развития полупроводниковой элементной базы	задание на выпускную квалификационную работу аналитический обзор литературы
ОПК.7	уметь работать на персональном компьютере в MS-DOS, ОС WINDOWS с использованием основных приложений обработки текстовой и числовой информации, систем программирования	оформление ВКР исследовательская (проектная) часть
ОПК.7	владеть сведениями об основных тенденциях развития электронной компонентной базы	аналитический обзор литературы
ОПК.8	знать правовые основы и системы стандартизации и сертификации	аналитический обзор литературы
ОПК.9	умеет осваивать новые программные средства для профессиональной деятельности	исследовательская (проектная) часть
ОПК.9	владеть методами работы с глобальными поисковыми системами	аналитический обзор литературы
ОПК.9	уметь работать с информацией в глобальных компьютерных сетях	аналитический обзор литературы
ОПК.9	умеет применять основные методы, способы и средства получения, хранения и переработки информации с помощью компьютеров и компьютерных средств	аналитический обзор литературы
ПК.1	Знать типовые программные продукты, ориентированные на решение задач моделирования материалов и компонентов нано- и микросистемной техники, управление процессами нанотехнологии, обработку результатов, полученных методами нанодиагностики	исследовательская (проектная) часть
ПК.1	Знать физические принципы, эффекты и процессы, лежащие в основе функционирования микромеханических и микроэлектромеханических систем	исследовательская (проектная) часть
ПК.1	Знать основы классификации объектов нано- и микросистемной техники	исследовательская (проектная) часть
ПК.1	Знать физические принципы работы, физическую структуру, основы технологии изготовления и принципы построения интегральных микросхем и функциональных элементов	исследовательская (проектная) часть
ПК.1	Знать основные понятия механики твердого деформируемого тела, основы расчетов на статическую и динамическую прочность и жесткость элементов конструкций, кинематический и кинетостатический анализ подвижных элементов конструкций	исследовательская (проектная) часть
ПК.1	Знать основные положения квантовой механики и статистической физики	исследовательская (проектная) часть

ПК.1	Знать физические принципы работы основных структур и компонентов нано- и микросистемной техники	исследовательская (проектная) часть
ПК.1	Знать основные принципы моделирования	исследовательская (проектная) часть
ПК.1	иметь представление о зонной структуре энергетического спектра в твердых телах	исследовательская (проектная) часть
ПК.1	Уметь применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов нано- и микросистемной техники, процессов нанотехнологий и методов нанодиагностики	исследовательская (проектная) часть
ПК.1	Уметь составлять адекватные модели	исследовательская (проектная) часть
ПК.1	Владеть навыками расчета основных параметров материалов и компонентов микро- и наносистемной техники	исследовательская (проектная) часть
ПК.1	Владеть навыками применения методов расчёта и исследования микроэлектромеханических элементов и устройств	исследовательская (проектная) часть
ПК.2	Знать базовые технологические процессы и оборудование, применяемые в производстве материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	исследовательская (проектная) часть
ПК.2	Знать основы метрологии, основные методы и средства измерения физических величин	исследовательская (проектная) часть
ПК.2	Знать классификацию материалов микросистемной техники	исследовательская (проектная) часть
ПК.2	знать основы метрологии	исследовательская (проектная) часть
ПК.2	Знать основные физико-химические свойства материалов, используемых в микросистемной технике	исследовательская (проектная) часть
ПК.2	знать основные методы и средства измерения физических величин	исследовательская (проектная) часть
ПК.2	Знать физические эффекты и явления, лежащие в основе применения материалов в микросистемной технике	исследовательская (проектная) часть
ПК.2	Знать классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории	исследовательская (проектная) часть
ПК.2	Владеть оформлением отчетной научно-исследовательской документации	исследовательская (проектная) часть
ПК.2	Уметь применять современные методы исследования для синтеза и анализа материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	исследовательская (проектная) часть
ПК.2	Уметь определять надежность, стабильность и воспроизводимость характеристик материалов и	исследовательская (проектная) часть

	элементов при наличии внешних воздействий	
ПК.2	уметь производить измерения электрических величин с помощью электроизмерительных аналоговых и цифровых приборов, определять параметры радиоэлектронных устройств, самостоятельно разобраться в принципиальной схеме устройств, выполнить монтаж радиоэлектронного устройства	исследовательская (проектная) часть
ПК.2	уметь интерпретировать экспериментальные физико-химические данные в полупроводниках на основе фундаментальных положений теории твердого тела	исследовательская (проектная) часть
ПК.2	Владеть методами экспериментального исследования параметров и характеристик материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	исследовательская (проектная) часть
ПК.2	Владеть навыками применения справочного аппарата по выбору требуемых материалов и компонентов электронной техники для конкретных применений	исследовательская (проектная) часть
ПК.3	Уметь интерпретировать полученные результаты, критически оценивать результаты расчетов и эксперимента	исследовательская (проектная) часть
ПК.4	знать методы оценки технико-экономической эффективности проектов	исследовательская (проектная) часть
ПК.4	уметь выполнять предварительное технико-экономическое обоснование проектов	задание на выпускную квалификационную работу исследовательская (проектная) часть
ПК.5	знать физико-технологические и экономические ограничения интеграции и миниатюризации электронной компонентной базы	исследовательская (проектная) часть
ПК.8	Знать физическую, химико-физическую и технологическую сущность процессов, протекающих при изготовлении микросистем; производственную гигиену: чистоту материалов и помещений; ЕСТД и её применение	исследовательская (проектная) часть
ПК.8	Владеть проектированием технологии изготовления элементной базы нано- и микросистемной техники	исследовательская (проектная) часть
ПК.8	Уметь проводить сквозное конструкторско-технологическое проектирование компонентов нано-и микросистемной техники, интеллектуальных микросистем, сенсоров и актюаторов	исследовательская (проектная) часть

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 предъявляемым требованиям • исследование проведено глубоко и полно, тема раскрыта • в работе отражены и обоснованы положения, выводы, подтверждены актуальность и значимость работы, аргументация полученных выводов достаточная • отзыв руководителя не содержит замечаний • представление работы в устном докладе полностью отражает полученные результаты, иллюстративный материал отличается наглядностью • ответы на вопросы комиссии сформулированы четко, с достаточной аргументацией и свидетельствуют о полном владении материалом исследования	Продвинутый	87-100
• структура и оформление ВКР отвечает большинству предъявляемых требований • исследование проведено в полном объеме, тема раскрыта • в работе отражены и обоснованы положения, выводы, подтверждены актуальность и значимость работы, но аргументация полученных выводов не достаточно полная	Базовый	73-86

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

Составитель _____ В.А. Гайслер
(подпись)

« ____ » _____ 2017 г.