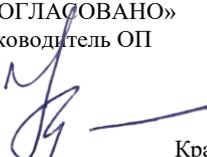




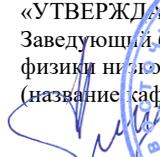
**Федеральное агентство по образованию
Министерства образования и науки РФ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

«СОГЛАСОВАНО»
Руководитель ОП


_____ Крайнова Г. С.
(подпись) (Ф.И.О. рук. ОП)
« 15 » сентября 2017 г.

«УТВЕРЖДАЮ»
Заведующий (а) кафедрой
физики низкоразмерных структур
(название кафедры)


_____ Саранин А.А.
(подпись) (Ф.И.О. зав. каф.)
« 15 » сентября 2017 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Физика и технология квантовых приборов

Направление подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Форма подготовки очная

Школа естественных наук

Кафедра физики низкоразмерных структур

курс 4, семестр 7

лекции 36 час.

в том числе с использованием МАО лек. _____ /пр. _____ /лаб. 18 час.

лабораторные работы 18 час.

всего часов аудиторной нагрузки 54 часов

в том числе с использованием МАО 18 час.

самостоятельная работа 54 час.

в том числе на подготовку к экзамену _____ час.

контрольные работы 7 семестр

курсовая работа / курсовой проект нет семестр

зачет 7 семестр

экзамен _____ семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта, самостоятельно устанавливаемого ДВФУ, утвержденного приказом ректора от 18.02.2016 № 12-13-235.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Физики низкоразмерных структур

« 15 » сентября 2017 г., протокол № 1

Заведующий кафедрой, чл.-корр. РАН Саранин А.А

Составитель, д.ф.-м.н., профессор Галкин Н.Г.

| | | | |
|---|--|--|--------------|
| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД __11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 2 из 33 |

Оборотная сторона титульного листа РПУД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____ Саранин А.А.
(подпись) (И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « ____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____ Саранин А.А.
(подпись) (И.О. Фамилия)

| | | | |
|--|--|--|--------------|
| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 3 из 33 |

ABSTRACT

**Bachelor's degree in 11.03.04 "Electronic and nanoelectronics"
Study Bachelor's Program "Nanotechnology in electronics"**

Course title: Physics and Technology of Quantum devices, 3 credits

Lecturer: N.G. Galkin, Doctor of Sciences, Professor on speciality, Professor of the Chair of Physics of Lowdimensional Structures, School of Natural Sciences of Far Eastern Federal University.

Learning outcomes:

SPC-3 readiness to analyze and systematize research results, to present materials in the form of scientific reports, publications, presentations;

SPC-9 ability to perform works on technological preparation of production of materials and products of electronic equipment.

Course description: The contents of discipline covers the formation of students' ideas on the physics of collisionless (ballistic transfer) processes in transistor structures and its influence on the performance of devices; on the interrelation of the electronic structure of heterojunctions, quantization conditions of the electron gas, thickness and doping of the layers of transistor layers, the use of quantum well double tunnel barriers in the construction of heterostructural transistors, including transistors on quantum effects; about the features of technological processes in the creation of heterojunction transistors, ballistic transistors and transistors on quantum effects to create ultra-high-speed integrated circuits.

Main course literature:

1. Schelkachev NM, Fominov Y.V. Electric current in nanostructures: Coulomb blockade and quantum dot contacts: Teaching aid. - M.: MIPT, 2010. - 39 p.

<http://window.edu.ru/resource/539/73539>

| | | | |
|--|--|--|--------------|
| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 4 из 33 |

2. Dorokhin M.V., Danilov Yu.A. Measurement of the polarization characteristics of radiation of nanoheterostructures: a teaching aid. - Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University, 2011. - 81 p. <http://window.edu.ru/resource/006/74006>
3. Borisenko S.I. Physics of semiconductor nanostructures: a training manual. - Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2010. - 115 p. <http://window.edu.ru/resource/927/73927>
4. Lapshinov B.A. Technology lithographic processes. Tutorial. - Moscow State Institute of Electronics and Mathematics. - М., 2011. - 95 p. <http://window.edu.ru/resource/498/78498>
5. Vdovichev S.N. Modern methods of high-vacuum deposition and plasma treatment of thin-film metal structures. Electronic teaching aid. - Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State University, 2012. - 60 p. <http://window.edu.ru/resource/357/79357>
6. Polyakov V.I., Starodubtsev E.V. Designing hybrid thin-film integrated circuits: a manual on the discipline "Design and technological support of computer production" - SPb .: NRU ITMO, 2013. - 80 p. <http://window.edu.ru/resource/042/79042>
7. Gromov D.G. Metallization of ultra-large-scale integrated circuits: study guide / DG Gromov, A.I. Mochalov, A.D. Sulimin, V.I. Shevyakov. - М .: BINOM. Laboratory of Knowledge, 2009. - 277 pp., Ill. <http://window.edu.ru/resource/591/64591>
8. Tkalich V.L., Makeeva A.V., Oborin E.E. Physical basics of nanoelectronics: Tutorial. - SPb .: SPbSU ITMO, 2011. - 83 p. <http://window.edu.ru/resource/415/73415>

| | | | |
|---|--|--|--------------|
| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 5 из 33 |

АННОТАЦИЯ

Учебная дисциплина «Физика и технология квантовых приборов» разработана для студентов 4 курса направления подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» в соответствии с требованиями образовательного стандарта, самостоятельно устанавливаемого ДВФУ.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 ЗЕ (108 час.). Учебным планом предусмотрены лекции (36 час.), семинарские занятия (18 час.) и самостоятельная работа студента (54 час.). Дисциплина «Физика и технология квантовых приборов» входит в вариативную часть цикла дисциплин образовательной программы (раздел – дисциплины по выбору), реализуется на 4 курсе, в 7 семестре.

Дисциплина «Физика и технология квантовых приборов» логически и содержательно связана с такими курсами, как «Физические основы электроники», «Материалы электронной техники», «Физика конденсированного состояния», «Физика полупроводников и низкоразмерных систем» и «Наноэлектроника». «Физика и технология квантовых приборов» является одной из завершающих дисциплин специализации, которая формирует компетенции студента в области реализации квантово-механических процессов в реальных полупроводниковых приборах (транзисторах).

Цель изучения дисциплины - подготовка академических бакалавров в области нанотехнологий в электронике, понимающих физические и технологические аспекты разработки и технологического воплощения гетеропереходных транзисторов, включая транзисторы на горячих носителях и транзисторы на квантовых эффектах, а также перспективы их использования для разработки сверхбыстродействующих интегральных схем.

Задачи:

- Формирование у студентов следующих знаний:

| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
|--|--|--|--------------|
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 6 из 33 |

- понятийный аппарат квантовой механики, для более полного и точного понимания формирования электронной структуры систем с пониженной размерностью (квантовых ям, квантовых проволок, квантовых точек и сверхрешеток на их основе);
- целостное представление о физике процессов бесстолкновительного (баллистического переноса) в транзисторных структурах и его влиянии на быстродействие приборов;
- представление о взаимосвязи электронной структуры гетеропереходов, условий квантования электронного газа, толщины и легирования слоев транзисторных слоев, использования двойных туннельных барьеров с квантовой ямой при построении гетероструктурных транзисторов, в том числе транзисторов на квантовых эффектах.
- представления об особенностях технологических процессах при создании гетеропереходных транзисторов, баллистических транзисторов и транзисторов на квантовых эффектах для создания сверхбыстродействующих интегральных микросхем.

Для успешного изучения дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

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-7: способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности.

| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
|--|--|--|--------------|
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 7 из 33 |

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие профессиональные компетенции (элементы компетенций).

| Код и формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции | |
|---|--------------------------------|--|
| ПК-3, готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций | Знает | методики экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения; методы реализации на практике различных подходов к исследованию характеристик приборов. |
| | Умеет | анализировать результаты экспериментальных исследований параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения; сравнивать результаты экспериментальных исследований с известными теоретическими расчетами и данными моделирования. |
| | Владеет | техникой экспериментов с различными приборами в области характеристики приборов электроники и нанoeлектроники; методикой обработки экспериментальных данных и расчетов ошибок измерений, способностью представлять результаты исследований в виде отчетов, презентаций |
| ПК-9, способность выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники | Знает | методы анализа и систематизации экспериментальных данных; методы поиска научной литературы по тематике исследований и производства материалов электронной техники |
| | Умеет | анализировать и систематизировать литературные экспериментальные и теоретические данные, представлять их в виде обзоров; анализировать данные собственных исследований по технологической подготовке производства материалов |

| | | | |
|---|--|--|--------------|
| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 8 из 33 |

| | | |
|--|---------|---|
| | Владеет | <p>методами анализа и систематизации результатов научных исследований;</p> <p>способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники</p> |
|--|---------|---|

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения:

- дискуссия;
- анализ современной научной литературы по тематике дисциплины на английском языке;
- обзорные доклады по предлагаемым тематикам и обсуждение их со студентами и преподавателем.

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА (36 часов)

1. Полевые и биполярные гетероструктурные транзисторы (10 часов)

Гетеропереход. Селективное легирование. Двумерный электронный газ. Гетероструктурные полевые транзисторы. Полевые транзисторы на гетероструктурах AlGaAs/GaAs с селективным легированием. Обратные и многоканальные структуры. Гетероструктурные биполярные транзисторы (ГСБТ). Гетероэмиттер. База и коллектор. Гетероструктурные биполярные транзисторы на AlGaAs/GaAs. ГСБТ на GaInAs/InP, GaInAsP/InP. Транзисторы с гетеропереходами из GaAs/Si, Ge/Si, α -Si/Si.

2. Транзисторы на горячих электронах (10 часов)

| | | | |
|---|--|--|--------------|
| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 9 из 33 |

Транзисторы с баллистической инжекцией электронов. Спектроскопия горячих электронов. Баллистические транзисторы с планарно-легированными барьерами. Баллистические транзисторы с гетероструктурными барьерами. Транзисторы с переносом заряда в пространстве.

3. Аналоговые транзисторы (5 часов)

Транзисторы со статической индукцией. Транзисторы с проницаемой базой. Транзисторы с металлической базой.

4. Транзисторы на квантовых эффектах (7 часов)

Туннелирование и размерное квантование. Резонансное туннелирование через двойной барьер с квантовой ямой и сверхрешетку. Транзисторы с резонансным туннелированием (биполярные и полевые).

5. Транзисторы и интегральные микросхемы с наивысшим быстродействием (4 часа)

Транзисторы с наивысшим быстродействием. Интегральные микросхемы на сверхбыстродействующих транзисторах.

II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ

КУРСА (семинарские занятия, выступления с докладами) (18 часов)

Тема 1. Построение гетеропереходов в модели Андерсона и с учетом поверхностных состояний (2 часа).

Тема 2. Принцип селективного легирования. Двумерный электронный и дырочный газы. Методы исследования двумерного электронного газа (2 часа).

Тема 3. Построение зонных энергетических диаграмм без и со смещением. Расчет параметров гетероструктурных полевых транзисторов (4 часа).

| | | | |
|---|--|--|---------------|
| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 10 из 33 |

Тема 4. Построение зонных энергетических диаграмм без и со смещением. Расчет параметров гетероструктурных биполярных транзисторов (2 часа).

Тема 5. Построение зонных энергетических диаграмм без и со смещением. Расчет параметров транзисторов на горячих электронах (2 часа).

Тема 6. Построение зонных энергетических диаграмм без и со смещением. Расчет параметров аналоговых транзисторов (2 часа)

Тема 7. Построение зонных энергетических диаграмм без и со смещением. Построение зонных диаграмм транзисторов на квантовых эффектах (2 часа).

Тема 8. Анализ сверхбыстродействующих микросхем на различных типах транзисторов (2 часа).

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Физика и технология квантовых приборов» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

- план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;
- характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;
- требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;
- критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

| № п/п | Контролируемые разделы / темы дисциплины | Коды и этапы формирования компетенций | Оценочные средства | | |
|-------|--|---------------------------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | | | текущий контроль | промежуточная аттестация | |
| 1 | Тема 1. Полевые и биполярные гетероструктурные транзисторы. | ПК-3, ПК-9 | знает | резюме (ПР-3) | экзамен, вопросы 1-7 |
| | | | умеет | Семинарское занятие (ПР-6) | экзамен, задание, тип 1, 2 |
| | | | владеет | Семинарское занятие (ПР-6) | экзамен, задание, тип 3 и 4 |
| 2 | Тема 2. Транзисторы на горячих электронах. | ПК-3, ПК-9 | знает | резюме (ПР-3) | экзамен, вопросы 8-13 |
| | | | умеет | Семинарское занятие (ПР-6) | экзамен, задание, тип 5 |
| | | | владеет | Семинарское занятие (ПР-6) | экзамен, задание, тип 5 |
| 3 | Тема 3 Аналоговые транзисторы. | ПК-3, ПК-9 | знает | резюме (ПР-3) | экзамен, вопросы 14-15 |
| | | | умеет | Семинарское занятие (ПР-6) | экзамен, задание, тип 6 |
| | | | владеет | Семинарское занятие (ПР-6) | экзамен, задание, тип 6 |
| 4 | Тема 4. Транзисторы на квантовых эффектах. | ПК-3, ПК-9 | знает | Резюме (ПР-3) | экзамен, вопросы 16-20 |
| | | | умеет | Семинарское занятие (ПР-6) | экзамен, задание, тип 7 |
| | | | владеет | Семинарское занятие (ПР-6) | экзамен, задание, тип 7 |
| 5 | Тема 5. Транзисторы и интегральные микросхемы с наивысшим быстродействием. | ПК-3, ПК-9 | знает | резюме (ПР-3) | экзамен, вопросы 21 - 22 |
| | | | умеет | Семинарское занятие (ПР-6) | экзамен, задание, тип 8 |

| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
|--|--|---|---------------|
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 12 из 33 |

| | | | | | |
|--|--|--|---------|-------------------------|-------------------------|
| | | | владеет | Обзорные доклады (ПР-6) | экзамен, задание, тип 8 |
|--|--|--|---------|-------------------------|-------------------------|

Вопросы и типы заданий к экзамену, типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

(электронные и печатные издания)

1. Щелкачёв Н.М., Фоминов Я.В. Электрический ток в наноструктурах: кулоновская блокада и квантовые точечные контакты: Учебно-методическое пособие. - М.: МФТИ, 2010. - 39 с.
<http://window.edu.ru/resource/539/73539>
2. Дорохин М.В., Данилов Ю.А. Измерение поляризационных характеристик излучения наногетероструктур: учебно-методическое пособие. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011. - 81 с. <http://window.edu.ru/resource/006/74006>
3. Борисенко С.И. Физика полупроводниковых наноструктур: учебное пособие. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. - 115 с. <http://window.edu.ru/resource/927/73927>
4. Лапшинов Б.А. Технология литографических процессов. Учебное пособие. - Московский государственный институт электроники и математики. - М., 2011. - 95 с. <http://window.edu.ru/resource/498/78498>
5. Вдовичев С.Н. Современные методы высоковакуумного напыления и плазменной обработки тонкопленочных металлических структур.

| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
|--|--|--|---------------|
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 13 из 33 |

Электронное учебно-методическое пособие. - Нижний Новгород:
Нижегородский госуниверситет, 2012. - 60 с.

<http://window.edu.ru/resource/357/79357>

6. Поляков В.И., Стародубцев Э.В. Проектирование гибридных тонкопленочных интегральных микросхем: учебное пособие по дисциплине "Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ" - СПб.: НИУ ИТМО, 2013. - 80 с.
<http://window.edu.ru/resource/042/79042>
7. Григорьев Ф.И. Плазмохимическое и ионно-химическое травление в технологии микроэлектроники: Учебное пособие / Московский государственный институт электроники и математики. - М. 2003. - 48 с.
<http://window.edu.ru/resource/784/76784>
8. Громов Д.Г. Металлизация ультрабольших интегральных схем: учебное пособие / Д.Г. Громов, А.И. Мочалов, А.Д. Сулимин, В.И. Шевяков. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 277 с.: ил.
<http://window.edu.ru/resource/591/64591>
9. Ткалич В.Л., Макеева А.В., Оборина Е.Е. Физические основы наноэлектроники: Учебное пособие. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. - 83 с.
<http://window.edu.ru/resource/415/73415>

Дополнительная литература (электронные и печатные издания)

1. Старосельский В.И., "Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники. Учебное пособие для вузов". М. Изд. Юрайт. 2015, 463 с.
2. Дубровский В.Г. Теоретические основы технологии полупроводниковых наноструктур. Учебное пособие. - СПб.: СПбГПУ, 2006. - 347 с.
<http://window.edu.ru/resource/346/63346>
3. Лысенко А.П. Биполярные транзисторы: Учебное пособие. - М.: МИЭМ, 2006. - 76 с. <http://window.edu.ru/resource/860/55860>

| | | | |
|---|--|--|---------------|
| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 14 из 33 |

VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

В общей трудоемкости дисциплины 108 час. (3 ЗЕ) аудиторные занятия составляют 54 час, включая лекции (36 час.) и семинарские занятия (18 час.).

По дисциплине предусмотрена внеаудиторная самостоятельная работа в объеме 54 часов на весь курс дисциплины.

Расписание аудиторных занятий включает в неделю 4 часа. Рекомендуются учащимся планировать внеаудиторную самостоятельную работу в объеме 4 часа в учебную неделю.

Для углубленного изучения теоретического материала курса дисциплины рекомендуются использовать основную и дополнительную литературу, указанную в приведенном выше перечне.

Самостоятельная работа студентов при изучении данной дисциплины состоит из подготовки к семинарским занятиям и подготовки коротких эссе по каждой теме лекционных занятий на основе современных специализированных по курсу статей, в том числе и на английском языке. Эссе выполняются в виде коротких заметок на 1-2 страницы с анализом литературных данных.

Целью осуществления данной деятельности является приобретение студентами, обучающимися по направлению «Электроника и наноэлектроника», навыков работы с научной литературой при подготовке к семинарским занятиям; получение опыта обработки и интерпретации литературных данных, а также методов построения зонных диаграмм гетероструктур и анализа их поведения при приложении рабочих напряжений.

| | | | |
|---|--|--|---------------|
| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 15 из 33 |

VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Образовательный процесс по дисциплине проводится в лекционных и компьютерных аудиториях корпуса ИАПУ ДВО РАН, оснащенных компьютерами класса Pentium и мультимедийными (презентационными) системами, с подключением к общекорпоративной компьютерной сети ИАПУ ДВО РАН, ДВФУ и сети Интернет.

| | | | |
|---|--|--|---------------|
| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 16 из 33 |

Приложение 1



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДВФУ)

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

**по дисциплине «Физика и технология квантовых приборов»
Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника**

Форма подготовки очная

**Владивосток
2016**

| | | | |
|---|--|---|---------------|
| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 17 из 33 |

План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

| № п/п | Дата/сроки выполнения | Вид самостоятельной работы | Примерные нормы времени на выполнение | Форма контроля |
|-------|-----------------------|--|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 1-2 недели семестра | Подготовка к семинарскому занятию по теме 1 и 2 | 6 час. | резюме статей по теме |
| 2 | 3 неделя семестра | Подготовка к семинарскому занятию по теме 3 | 8 час. | контрольная работа |
| 3 | 4 неделя семестра | Подготовка к семинарскому занятию по теме 4 | 6 час. | резюме статей по теме |
| 4 | 5 недели семестра | Подготовка к семинарскому занятию по теме 5 | 6 час. | контрольная работа |
| 5 | 6 недели семестра | Подготовка к семинарскому занятию по теме 6 | 6 час. | резюме статей по теме |
| 6 | 7 недели семестра | Подготовка к семинарскому занятию по теме 7 | 6 час. | контрольная работа |
| 7 | 8 неделя семестра | Подготовка к семинарскому занятию по теме 8 | 7 час. | резюме статей по теме |
| 8 | 9 неделя семестра | Подготовка устных докладов в виде презентации с рисунками и выводами на основе подготовленных резюме | 9 час. | Обзорные доклады по тематике курса |
| Итого | | | 54 часа | |

Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению

Задания и методические рекомендации для самостоятельной работы обеспечивают подготовку резюме по прочитанным оригинальным статьям, контрольным работам и обзорному докладу по всем статьям в рамках тематике курса лекций «Физика и технология квантовых приборов».

| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
|--|--|--|---------------|
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 18 из 33 |

Характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению

Задания выдаются в виде оригинальных статей по курсу читаемых лекций, которые необходимо разобрать к семинарскому занятию и подготовить короткое резюме (2-3) страницы машинописного текста.

Требования к представлению резюме

Резюме по оригинальным статьям представляет краткую письменную работу с изложением сути рассматриваемой в статье проблемы. Обучаемый самостоятельно проводит анализ этой проблемы и кратко излагает их в резюме в виде выводов и сопоставляет с разобранным в ходе лекций материалами.

Резюме составляется по тематике определенных теоретических вопросов изучаемой дисциплины при использовании научной литературы. Резюме оформляется в соответствии с требованиями Правил оформления письменных работ студентами ДВФУ.

По форме резюме представляет краткое письменное сообщение, имеющее ссылки на источники литературы и краткий терминологический словарь, включающий основные термины и их расшифровку (толкование) по раскрываемой теме (вопросу).

Резюме представляется на проверку в электронном виде, исходя из условий:

- ✓ текстовый документ в формат MS Word;
- ✓ объем – 2-3 компьютерные страницы 1 статье;
- ✓ объем словаря – не менее 7-10 терминов на одно резюме;
- ✓ набор текста с параметрами - шрифт 14, межстрочный интервал 1,5;
- ✓ формат листов текстового документа - А4;
- ✓ *титульный лист* (первый лист документа, без номера страницы) – по заданной форме;

| | | | |
|---|--|--|---------------|
| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 19 из 33 |

✓ *список литературы* по использованным при подготовке резюме источникам, наличие ссылок в тексте резюме на источники по списку.

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

Оценивание резюме проводится по критериям:

- использование данных отечественной и зарубежной литературы, источников Интернет и курса лекций;
- владение методами и приемами анализа теоретических и/или практических аспектов изучаемой области;
- отсутствие фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы.

Подготовка к контрольным работам

Подготовка к контрольным работам проводится по тематике лекций в рамках рассмотренных тем. Вопросы выносятся на контрольные работы без их предварительного обсуждения. Преподаватель оставляет за собой право проводить короткие по времени контрольные работы (до 10 минут) с ответом на 5 коротких вопросов, сформулированных в строгом соответствии с темами лекционных занятий.

Приложение 2

| | | | |
|---|--|--|---------------|
| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 20 из 33 |



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
 (ДВФУ)

ШКОЛА ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине «Физика и технология квантовых приборов»
Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Форма подготовки очная

Владивосток
2016

Паспорт ФОС

| Код и формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции | |
|---|---------------------------------------|---|
| ПК-3, готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций | Знает | методики экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения; методы реализации на практике различных подходов к исследованию характеристик приборов |
| | Умеет | анализировать результаты экспериментальных исследований параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения; сравнивать результаты экспериментальных исследований с известными теоретическими расчетами и данными моделирования |
| | Владеет | техникой экспериментов с различными приборами в области характеристики приборов электроники и наноэлектроники; методикой обработки экспериментальных данных и расчетов ошибок измерений, способностью представлять результаты исследований в виде отчетов, презентаций |
| ПК-9, способность выполнять работы по технологической подготовке производства материалов изделий и электронной техники | Знает | методы анализа и систематизации экспериментальных данных; методы поиска научной литературы по тематике исследований и производства материалов электронной техники |
| | Умеет | анализировать и систематизировать литературные экспериментальные и теоретические данные, представлять их в виде обзоров; анализировать данные собственных исследований по технологической подготовке производства материалов |
| | Владеет | методами анализа и систематизации результатов научных исследований; |

| | | | |
|---|--|--|---------------|
| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 22 из 33 |

| | | |
|--|--|---|
| | | способностью выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники |
|--|--|---|

Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

| Код и формулировка компетенции | Этапы формирования компетенции | | критерии | показатели | баллы |
|---|--------------------------------|--|--|--|-------|
| ПК-3, готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций | знает (пороговый уровень) | основные методы создания полупроводниковых структур с пониженной размерностью, основные методы исследования физических свойств полупроводниковых структур с пониженной размерностью, методы исследования функциональных характеристик полупроводниковых наноструктур, современное состояние науки в выбранной области нанoeлектроники. | воспроизводить и объяснять учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты | способность показать базовые знания и основные умения в использовании: полупроводниковых структур с пониженной размерностью, основные методы исследования физических свойств полупроводниковых структур с пониженной размерностью, методы исследования функциональных характеристик полупроводниковых наноструктур | 65-74 |
| | умеет (продвинутый) | умеет использовать базовые представления и готов оценивать применимость методов формирования полупроводниковых наноструктур с заданными параметрами на различных типах полупроводников и полупроводниковых соединений, применимость методов и оборудования для конкретных | выполнять типичные задачи по разработке конструкции и параметров сверхбыстродействующих транзисторов на основе полупроводниковых гетероструктур и наногетероструктур | способность применить знания и практические умения в задачах, связанных с полупроводниковыми структурами с пониженной размерностью, основные методы исследования физических свойств полупроводниковых структур с пониженной размерностью, методы исследования функциональных характеристик полупроводниковых наноструктур и транзисторных структур на основе гетеропереходов | 75-89 |

| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
|--|--|--|---------------|
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 23 из 33 |

| | | | | | |
|--|---------------------------|--|--|---|--------|
| | | научных задач в области нанoeлектроники. | | | |
| | владеет (высокий) | систематическим и представлениями о физике и технологии сверхбыстродействующих транзисторов, построенных на различных принципах и готов оценивать применимость методов моделирования полупроводниковых транзисторных структур с заданными параметрами быстродействия для конкретных научных и технологических задач в области нанoeлектроники. | решать усложненные задачи в нетипичных ситуациях на основе приобретенных знаний, умений и навыков | Умеет опыт и готов самостоятельно оценивать применимость методов формирования полупроводниковых наноструктур с заданными параметрами на различных типах полупроводников и полупроводниковых соединениях; выбирать и применять методы исследования физических свойств транзисторов с горячими носителями и на квантовых эффектах, оценивать применимость методов и оборудования для конкретных научных задач в области нанoeлектроники | 90-100 |
| ПК-9, способность выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники | знает (пороговый уровень) | современные приемы и методы работы с информационным и технологиями, методы поиска новой периодической информации в виде статей и монографий | воспроизводить и объяснять новый научно-технический материал с требуемой степенью научной точности и полноты | способность показать базовые знания и основные умения в использовании: - принципов организации информационного поиска литературы в области нанoeлектроники и физики транзисторных структур; - способов подготовки литературных обзоров по заданной тематике; - методов создания и оптимизации подачи материалов в презентациях. | 65-74 |
| | умеет (продвинутый) | добывать и анализировать информацию из периодических источников; применять приемы и методы работы с информационным и технологиями; планировать работы по использованию полученной периодической информации для | выполнять типичные задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения задач по поиску информации для подготовки производства материалов и изделий электроники | способность применить знания и практические умения в задачах, связанных с поиском периодической информации по заданной теме и за определенный период времени; умеет подготавливать обзоры и резюме по заданной тематике; знает и применяет подходы для подготовки производства материалов и изделий электроники. | 75-89 |

| | | | |
|---|--|--|---------------|
| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 24 из 33 |

| | | | | | |
|--|-------------------|--|--|--|--------|
| | | подготовки производства материалов и изделий электроники | | | |
| | владеет (высокий) | методами анализа и систематизации результатов научных исследований; способность выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники | владеет методами решения усложненных задач в нетипичных ситуациях на основе приобретенных знаний, умений и навыков по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники | способность применить фактическое и теоретическое знание, практические умения по разработке проектных материалов в профессиональной области нанoeлектроники и физики транзисторных структур; способность решать усложненные задачи в нетипичных ситуациях на основе приобретенных знаний, умений и навыков по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники | 90-100 |

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков

Текущая аттестация студентов. Текущая аттестация студентов по дисциплине «Физика и технология квантовых приборов» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине «Физика и технология квантовых приборов» проводится в форме контрольных мероприятий (защита резюме, выступление на семинарских занятиях, контрольное тестирование) по оцениванию фактических результатов обучения студентов осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

| | | | |
|--|--|--|---------------|
| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 25 из 33 |

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);

- степень усвоения теоретических знаний;

- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;

- результаты самостоятельной работы.

Оценивание результатов освоения дисциплины на этапе текущей аттестации проводится в соответствии с используемыми оценочными средствами.

Критерии оценки резюме

Оценивание защиты резюме проводится при представлении резюме в электронном виде, по двухбалльной шкале: «зачтено», «незачтено».

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если он представляет к защите резюме, удовлетворяющее поставленным к резюме требованиям (использование данных отечественной и зарубежной литературы, источников Интернет и сопоставления с теоретическим курсом лекций, представление краткого терминологического словаря по теме), по оформлению, если студент демонстрирует владение методами и приемами теоретических аспектов работы, не допускает фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы.

Оценка «незачтено» выставляется студенту, если он не владеет методами и приемами теоретических аспектов работы, допускает существенные ошибки в работе, связанные с пониманием проблемы, представляет резюме с существенными отклонениями от правил оформления письменных работ.

| | | | |
|---|--|--|---------------|
| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 26 из 33 |

Критерии оценки отчетов по семинарским занятиям

Оценивание работы на семинарских занятиях проводится на основе анализа выступлений студента с краткими ответами по заданным на семинарском занятии вопросам теоретического и технологического характера по двухбалльной шкале: «зачтено», «незачтено».

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если он посетил 100% семинарских занятий и продемонстрировал владение методами и приемами теоретических и/или практических аспектов работы.

Оценка «незачтено» выставляется студенту, если он посетил менее 50% семинарских занятий и не владеет методами и приемами теоретических и/или практических аспектов работы, допускает существенные ошибки в работе, представляет отчет с существенными отклонениями при ответах на поставленные вопросы.

Критерии оценки контрольных работ

Оценивание проводится после письменных ответов на поставленные вопросы по пятибалльной шкале.

Максимальная оценка по контрольной работе – 5, минимальная 3.

Результаты контрольных работ учитываются при сдаче экзаменов. Дополнительные вопросы задаются по темам с оценкой ниже 4.

Оценочные средства для промежуточной аттестации

Вопросы к зачету

1. Спектроскопия горячих электронов.
2. Селективное легирование. Двумерный электронный газ.
3. Стационарная дрейфовая скорость, междолинный перебор, эффект убегания электронов.
4. Гетеропереход: основные условия формирования, типы гетеропереходов, разрывы зон, резкие и варизонные гетеропереходы.

| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
|--|--|--|---------------|
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 27 из 33 |

5. Гетероструктурные биполярные транзисторы: гетероэмиттер, база и коллектор.
6. Гетероструктурные биполярные транзисторы: транзисторы на структуре AlGaAs\GaAs.
7. Полевые транзисторы на гетероструктурах с селективным легированием (ПТ ГСЛ): прямая, обратная и многоканальные структуры, нормально открытые и нормально закрытые структуры, достоинства и недостатки ПТ ГСЛ.
8. Всплеск дрейфовой скорости в длинных и коротких структурах, баллистический пролет.
9. Баллистические транзисторы с планарно-легированными барьерами.
10. Баллистические транзисторы с гетероструктурными барьерами: транзистор с двумерной базой, туннельный транзистор на горячих электронах.
11. Транзисторы на горячих электронах: транзисторы с баллистической инжекцией электронов.
12. Баллистические транзисторы с гетероструктурными барьерами: БЭТ с варизонным эмиттером, транзистор с индуцированной базой.
13. Транзисторы с переносом заряда в пространстве.
14. Транзисторы со статической индукцией: принцип действия, частотные характеристики.
15. Аналоговые транзисторы: транзисторы с проницаемой и металлической базами.
16. Транзисторы на квантовых эффектах: резонансное туннелирование через двойной барьер с квантовой ямой и сверхрешетку.
17. Транзисторы с ДБКС-эмиттером.
18. Квантово-размерные структуры: квантовые проволоки и квантовые точки. Материалы с распределенными квантовыми точками.
19. Биполярные транзисторы с резонансным туннелированием.

| | | | |
|---|--|--|---------------|
| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 28 из 33 |

20. Полевые транзисторы с резонансным туннелированием.
21. Перспективы построения интегральных схем на сверхбыстродействующих транзисторах.
22. Основные проблемы интегральных схем при дальнейшей микроминиатюризации транзисторов.

Оценочные средства для текущей аттестации

Вопросы для самопроверки

Тема 1. **Полевые и биполярные гетероструктурные транзисторы** (12 часов)

1. Что такое гетеропереход и при каких условиях он формируется?
2. Какие типы гетеропереходов существуют? Чем они принципиально различаются?
3. Модель Андерсона – в чем основные допущения?
4. Возможно ли создание идеальных гетеропереходов между полупроводниками с различной симметрией кристаллической решетки?
5. Что такое принцип селективного легирования? Какой из слоев в гетеропереходе легируется?
6. Как сформировать слой двумерного электронного газа? При каких условиях формируется двумерный дырочный газ?
7. Возможно ли в кремниевом р-п переходе сформировать двумерный электронный газ?
8. Каковы условия рассеяния носителей в двумерном электронном (дырочном) газе?
9. Может ли двумерный электронный газ существовать при комнатной температуре (да, нет, почему)?

| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
|--|--|--|---------------|
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 29 из 33 |

10. Какой тип рассеяния носителей превалирует в двумерном электронном (дырочном) газе?
11. Чем определяется максимальная дрейфовая скорость в полупроводниках?
12. Возможен ли всплеск максимальной дрейфовой скорости носителей?
13. Возможно ли всплеск дрейфовой скорости реализовать в транзисторных структурах с тонкой базовой областью?
14. Чем отличается гетероструктурный полевой транзистор от МОП-полевого транзистора?
15. Какой принцип работы полевого транзистора на гетероструктурах AlGaAs/GaAs с селективным легированием?
16. При каких температурах проявляются основные достоинства транзисторов на гетероструктурах с селективным легированием?
17. Назовите основные режимы работы транзисторов на гетероструктурах с селективным легированием?
18. В чем достоинства и недостатки обратных и многоканальных типов транзисторов на гетероструктурах с селективным легированием?
19. Каков принцип работы гетероструктурных биполярных транзисторов (ГСБТ)?
20. Какой параметр гетероперехода позволяет регулировать гетероэмиттер?
21. Чего позволяет добиться использование электрического поля в базе и как это влияет на быстродействие ГСБТ?
22. Какой уровень легирования допускается в коллекторе ГСБТ в системе GaAs/AlGaAs/GaAs?
23. Сравните схемы легирования в обычном биполярном транзисторе и гетероструктурном биполярном транзисторе.

| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
|--|--|--|---------------|
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 30 из 33 |

24. В чем преимущества гетероструктурных биполярных транзисторы на других гетеропарах GaInAs/InP, GaInAsP/InP, GaAs/Si, Ge/Si, α -Si/Si?

Тема 2. Транзисторы на горячих электронах (10 часов)

1. Что такое горячие электроны? Каковы основные механизмы их генерации в полупроводниках?
2. До каких максимальных расстояний в транзисторных структурах нужно учитывать существование горячих носителей?
3. Что такое баллистический перенос носителей в полупроводниках? Можно ли этот эффект использовать при создании транзисторных структур?
4. Принцип действия транзисторов с баллистической инжекцией электронов, типовые его структуры и параметры быстродействия.
5. Что такое спектроскопия горячих электронов? На каком типе транзисторных структур она реализована?
6. Что такое планарно-легированный барьер? Это гетеропереход или нет?
7. Сравните по быстродействию обычный p-n переход и планарно-легированный барьер.
8. Нарисуйте схему баллистического транзистора с планарно-легированными барьерами и обоснуйте параметры его быстродействия.
9. Принцип работы и параметры быстродействия баллистических транзисторов с гетероструктурными барьерами.
10. Типы транзисторов с переносом заряда в пространстве и их зонные диаграммы.

Тема 3. Аналоговые транзисторы (5 часов)

1. Конструкция и принцип работы транзисторов со статической индукцией.

| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
|--|--|--|---------------|
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 31 из 33 |

2. Механизм переноса носителей в транзисторе со статической индукцией. Вольт-амперные характеристики.
3. Основные типы транзисторов со статической индукцией и области их применения.
4. Чем отличаются транзисторы с проницаемой базой от транзисторов со статической индукцией.
5. Реальные конструкции транзисторов с проницаемой базой и их быстродействие.
6. Конструкция транзисторов с металлической базой и их зонная диаграмма.
7. Как влияет квантово-механическое отражение на коллекторном барьере на коэффициент переноса носителей в транзисторах с металлической базой?
8. Для каких систем можно ожидать реализацию транзисторов с металлической базой?

Тема 4. Транзисторы на квантовых эффектах (7 часов)

1. Механизм туннелирования носителей через одиночный барьер
2. Механизм переноса носителей через квантовую яму
3. Как размерное квантование влияет на перенос носителей?
4. В чем заключается механизм резонансного туннелирования через двойной барьер с квантовой ямой?
5. Чем отличаются последовательное и резонансное туннелирование через двойной барьер с квантовой ямой?
6. Что такое сверхрешетка и как ее можно сформировать на основе гетеропереходов?
7. Чем отличаются многобарьерные структуры от сверхрешетки?
8. Каков механизм переноса носителей через сверхрешетку?
9. В каком случае сверхрешетку можно использовать для эмиссии фотонов?

| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
|--|--|--|---------------|
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 32 из 33 |

10. Какие типы транзисторов с резонансным туннелированием вы можете перечислить?
11. В каких транзисторах на квантовых эффектах можно ожидать реализацию резонансного туннелирования с максимальной вероятностью?
12. В чем основная особенность выходных характеристик транзисторов на квантовых эффектах?
13. Как можно построить умножитель частоты на транзисторах на квантовых эффектах?
14. Каково быстродействие транзисторов на квантовых эффектах?
15. Какие из параметров транзисторов на квантовых эффектах ограничивает их быстродействие?
16. Каков принцип действия диода на двойном барьере с квантовой ямой?
17. От каких параметров зависит быстродействие диодов на двойном барьере с квантовой ямой?
18. В чем разница принципов действия между биполярными и полевыми транзисторами на квантовых эффектах?.

Тема 5. Транзисторы и интегральные микросхемы с наивысшим быстродействием (6 часов)

1. Какие из транзисторов с наивысшим быстродействием реализованы на практике и каковы их параметры быстродействия?
2. Каковы перспективы использования транзисторов на горячих электронах, с баллистическим пролетом и аналоговых транзисторов?
3. Можно ли ожидать использования транзисторов на квантовых эффектах в микросхемах с наивысшим быстродействием?
4. Интегральные микросхемы на сверхбыстродействующих транзисторах.

| Учебно-методический комплекс дисциплины «Физика и технология квантовых приборов» | | | |
|--|--|--|---------------|
| Разработал: Галкин Н.Г. | Идентификационный номер: РПУД 11.03.04.01 БЗ.В.ДВ.12 -2016 | Контрольный экземпляр находится на кафедре физики низкоразмерных структур ШЕН ДВФУ | Лист 33 из 33 |

5. Основные технологические проблемы при реализации транзисторов с наивысшим быстродействием.