

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
"Национальный исследовательский университет
"Высшая школа экономики"**

Московский институт электроники и математики
Департамент электронной инженерии

Программа дисциплины

Приборы на сложных полупроводниковых системах и гетероструктурах

для образовательной программы "Прикладная физика"
направления подготовки 11.04.04. «Электроника и наноэлектроника»
уровень - магистр

Разработчики программы

Гольцман Г.Н., профессор, д.ф.-м.н., ggoltsman@hse.ru

Чулкова Г.М., профессор, д.ф.-м.н., доцент, gchulkova@hse.ru

Одобрена на заседании Базовой кафедры "Квантовой оптики и телекоммуникаций"
ЗАО "Сконтел"

«28» марта 2016 г.

Зав. кафедрой Г.Н. Гольцман _____

Одобрена на заседании департамента электронной инженерии «2» июня 2016 г

Руководитель департамента Б.Г. Львов _____

Рекомендована Академическим советом образовательной программы

«__» _____ 2016 г., № протокола _____

Утверждена «__» _____ 2016 г.

Академический руководитель образовательной программы

Попова Е.А. _____

Москва, 2016

*Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями
университета и другими вузами без разрешения подразделения-разработчика програ.*

Пояснительная записка Область применения

Настоящая программа устанавливает минимальные требования к знаниям и умениям студента и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину, учебных ассистентов и студентов магистерской программы «Прикладная физика» направления 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника».

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину, учебных ассистентов и студентов направления подготовки 11.04.04. Электроника и нанoeлектроника подготовки магистра, обучающихся по магистерской программе «Прикладная физика» и изучающих дисциплину «Приборы на сложных полупроводниковых системах и гетероструктурах».

Программа разработана в соответствии с:

- образовательным стандартом высшего образования Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», протокол ученого совета НИУ ВШЭ от 06.12.2013 г. № 50;
- образовательной программой «Прикладная физика» направления подготовки 11.04.04. «Электроника и нанoeлектроника»
- рабочим учебным планом университета по направлению подготовки 11.04.04. «Электроника и нанoeлектроника» магистерской программы «Прикладная физика», утвержденным в 2016 г.

Цели освоения дисциплины

Целью дисциплины является знакомство студентов с устройствами на основе сложных полупроводниковых структур и гетероструктур

Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

Системные компетенции

СК-1	Способен оценивать и модифицировать освоенные методы и способы профессиональной деятельности
СК-2	Способен разрабатывать, апробировать и изобретать модели, способы, методы и инструменты профессиональной деятельности
СК-8	Способен к ведению профессиональной деятельности в международной среде.

Профессиональные компетенции

ПК-5	Способен порождать принципиально новые идеи и продукты, обладает креативностью, инициативностью
ПК-6	Способен создавать, описывать и ответственно контролировать выполнение технических и технологических требований и нормативов в профессиональной деятельности

ПК-7	Способен использовать глубокие естественнонаучные и математические знания для постановки научно-исследовательских задач и выявления научной проблематики в электронике и наноэлектронике.
ПК-8	Способен применять физико-математический аппарат для разработки методик и проведения теоретических и экспериментальных исследований изделий электронной техники, интерпретировать и представлять их результаты.
ПК-10	Способен ставить и решать с использованием физикоматематических методов задачи инженерного анализа для создания изделий электронной техники.

Виды и задачи профессиональной деятельности

Научно-исследовательская деятельность:

1. Сбор, обработка, анализ и систематизация научно-технической информации по теме исследования, выбор методик и средств решения задачи	НИ1
4. Составление обзоров и отчетов о проводимых исследованиях	НИ4

Инновационная деятельность

13. Совершенствование существующих творческих методов решения профессиональных задач	И 13
--	------

Тематический план учебной дисциплины

Модуль 1

Лекций – 8 часов. Практических занятий – 16 часов. Самостоятельная работа – 52 часа.

Формы текущего контроля – практические занятия С₁.

№ п/п	Наименование тем	Всего часов	Аудиторные часы		Самостоятельная работа
			Лекции	Семинары и практич. занятия	
1	Обзор свойств кремния. Кремний в электронной промышленности. Области применения кремния. Простые полупроводники. Сложные полупроводники.	18	2	4	12
2	Полупроводниковые сплавы. Простые гетероструктуры. Гетеропереходы.	29	3	6	20
3	Квантовая механика гетероструктур. Протекание тока в гетероструктурах.	29	3	6	20

Итого часов	76	8	16	52
--------------------	-----------	----------	-----------	-----------

Модуль 2

Лекций – 8 часов. Практических занятий – 16 часов. Самостоятельная работа – 52 часа.

Формы текущего контроля – практические занятия С₂.

Формы итогового контроля – экзамен Э₂

№ п/п	Наименование тем	Всего часов	Аудиторные часы		Самостоятельная работа
			Лекции	Семинары и практич. занятия	
1	Квантовые ямы, проволоки, точки. Плотность состояний. Связанные квантовые ямы и сверхрешетки.	25	2	5	18
2	Сверхрешетки: энергетические уровни и применения.	25	2	5	18
3	Специальные структуры и их применения: квантово-каскадные лазеры, детекторы, диоды.	26	4	6	16
Итого часов		76	8	16	52

Формы контроля знаний студентов

Текущий контроль предусматривает работу на практических занятиях (С_n). Здесь индекс «n» обозначает номер модуля.

Работа на практических занятиях (С_n) в обязательном порядке учитывается при выставлении накопленной оценки каждого модуля.

Элементы текущего контроля:

С_n – оценка за работу на практических занятиях (n-номер модуля). Оценка выставляется как среднее арифметическое (с учетом правил округления до целого числа баллов) оценок за каждое практическое занятие С_i, проводимое согласно календарному плану в данном модуле, где N – количество практических занятий в модуле. Оценка за каждое практическое занятие С_i формируется по десятибалльной шкале за работу на практическом занятии

$$C_n = \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N}$$

Итоговый контроль – экзамен в конце второго модуля. Оценка по экзамену (Э) выставляется по десятибалльной шкале по итогам сдачи экзамена в устной форме с учетом правил округления до целого числа.

Порядок формирования оценок по дисциплине

Оценки складываются из:

накопленной оценки (**Н**), которая формируется по десятибалльной шкале (с учетом правил округления до целого числа баллов) как взвешенная сумма полученных оценок всех форм текущего контроля, предусмотренных рабочим учебным планом данного модуля. В каждом модуле формулы для расчета накопленной оценки определяются формами текущего контроля данного модуля.

оценки за экзамен (Э), которая выставляется по десятибалльной шкале по итогам сдачи экзамена в устной форме.

Результирующая оценка (**Р**) является взвешенной суммой накопленной оценки (**Н**) и оценки за экзамен (Э).

В первом модуле рабочим учебным планом экзамен не предусмотрен, поэтому результирующая оценка в этом модуле не выставляется. Результирующая оценка выставляется во втором модуле по формуле:

$$P = 0,5 * N_{1,2} + 0,5 * Э,$$

где $N_{1,2} = (N_1 + N_2) / 2$, N_1 – накопленная оценка за первый модуль, N_2 – накопленная оценка за второй модуль.

Итоговой оценкой за курс «Приборы на сложных полупроводниковых системах и гетероструктурах» является результирующая оценка (**Р**) второго модуля

Формы рубежного контроля и структура итоговой оценки

Итоговая оценка по учебной дисциплине складывается из следующих элементов:

- тесты по материалам лекций (теория)
- работа на практических занятиях (решение задач, работа на лабораторных установках, доклады, обсуждения);
- экзамен.

Структура экзаменационной оценки по учебной дисциплине:

Форма работы	Вклад в итоговую оценку (%)
Тесты по материалам лекций (теория)	15
Задания на практических занятиях (практика)	35
Экзамен	50

Аннотация курса

Дисциплина «Приборы на сложных полупроводниковых системах и гетероструктурах» входит в вариативную часть магистерской программы и рассчитан на студентов первого

года обучения в магистратуре. В курсе рассматриваются основные вопросы, связанные с получением студентами углубленных теоретических знаний в области физики, моделирования и применения сложных полупроводников таких, как Si-Ge, в быстродействующей электронике, оптоэлектронике, детекторах электромагнитного излучения и интегральных микросхемах. Подробно излагаются вопросы зонной структуры, эффективной массы, гетероструктур типа Si-Ge, квантовых структур, а также создаваемые на их основе диоды, полевые транзисторы, биполярные транзисторы, диэлектрические волноводы, фотонные решетки, полупроводниковые лазеры, светодиоды и фотодетекторы.

Основу курса составляют установочные лекции, главным содержанием которых является освоение научно-теоретических основ, а также интерактивные практические занятия для развития навыков владения методами создания и изучения приборов на сложных полупроводниковых системах и гетероструктурах.

Содержание дисциплины

Модуль 1.

Тема 1. Обзор свойств кремния. Кремний в электронной промышленности. Области применения кремния. Простые полупроводники. Сложные полупроводники: Si-Ge, GaAs и т.д.

Тема 2. Полупроводниковые сплавы. Простые гетероструктуры. Гетеропереходы. Протекание тока в гетероструктурах.

Тема 3. Квантовая механика гетероструктур. Гетероструктуры: квазиэлектрическое поле, модулированное легирование, электронное и оптическое ограничение – гетеролазеры. Уменьшение размеров и размерности. Квазидвумерные системы. Сверхрешетки, блоховские осцилляции. Резонансное туннелирование; квантово-классические интегральные схемы. Инженерия электронных состояний и бездиссипативное переключение. Квантовые проволоки и точки (кластеры). Одноэлектроника. Спинтроника. Квантовые ямы, проволоки, точки. Плотность состояний.

Модуль 2.

Тема 1. Квантовые ямы, проволоки, точки. Плотность состояний. Связанные квантовые ямы и сверхрешетки.

Тема 2. Сверхрешетки: энергетические уровни и применения.

Тема 3. Специальные структуры и их применения: квантово-каскадные лазеры, детекторы, диоды, полевые транзисторы, биполярные транзисторы, диэлектрические волноводы, фотонные решетки, полупроводниковые лазеры, светодиоды и фотодетекторы.

Темы практических занятий.

Оптические волноводы: расчет и моделирование.

Измерение характеристик оптоволоконных элементов (измерение мощности, измерение полосы пропускания)

Измерение характеристик высокочастотных электрических цепей (коэффициент передачи).

Моделирование и расчет антенн и волноводов с помощью пакета HFSS.

Расчет и моделирование оптимальных параметров наноструктур с волноводами с использованием программных средств "COMSOL".

Примерные темы рефератов

1. Резонансно-туннельный диод.
2. Квантовое ограничение в наноразмерных структурах.
3. Эффект размерного квантования.
4. Смесители терагерцового диапазона.

Рекомендуемая литература

Основная

1. Hilmi Ünlü, Norman J. M. Horing, Jaroslaw Dabowski. Low-Dimensional and Nanostructured Materials and Devices: Properties, synthesis, characterization, modelling and applications... Springer – 2016
2. Mitra Dutta, Michael A Stroscio, Advanced semiconductor heterostructures : novel devices, potential device applications and basic properties, River Edge, N.J. : World Scientific, ©2003.
3. Duan, X. F., Huang, Y., Agarwal, R. & Lieber, C. M. 2003 Single-nanowire electrically driven lasers. Nature 421, 241–245
4. Bjork, M. T., Ohlsson, B. J., Thelander, C., Persson, A. I., Deppert, K., Wallenberg, L. R. & Samuelson, L. 2002 , Nanowire resonant tunneling diodes. Appl. Phys. Lett. 81, 4458–4460
5. [*Bastard, Gérald \(1991\). Wave Mechanics Applied to Semiconductor Heterostructures. Wiley-Interscience. ISBN 978-0-470-21708-5.*](#)
6. [*Feucht, D. Lion; Milnes, A.G. \(1970\). Heterojunctions and metal-semiconductor junctions. New York and London: Academic Press., ISBN 0-12-498050-3.*](#) A somewhat dated reference respect to applications, but always a good introduction to basic principles of heterojunction devices.
7. [*R. Tsu; F. Zypman \(1990\). "New insights in the physics of resonant tunneling". Surface Science \(Surface Science\) 228 \(1-3\): 418. Bibcode:1990SurSc.228..418T. doi:10.1016/0039-6028\(90\)90341-5.*](#)

Дополнительная литература:

1. Шик А.Я., Бакуева Л.Г., Мусихин С.Ф., Рыков С. А. Физика низкоразмерных систем. - СПб.: Наука, 2001.
2. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур. -М.: Логос, 2000.
3. Кульбачинский В. А. Двумерные, одномерные, нульмерные структуры и сверхрешетки. - Издательство Физического факультета МГУ (НЭВЦ ФИЛТ), 1998.
4. Андо Т., Фаулер А., Стерн Ф. Электронные свойства двумерных систем. М.: Мир, 1985
5. Н.Б.Брандт, В.А.Кульбачинский Квантизация в физике конденсированного состояния М.: ФизМатЛит 2005, с. 396.
6. Гантмахер В. Ф. Электроны в неупорядоченных средах. — 2-е изд., испр. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.
7. Леденцов Н. Н., Устинов В. М., Щукин В. А. и др. Гетероструктуры с квантовыми точками: получение, свойства, лазеры // ФТП. 1998. Т. 32. С. 385.

Авторы программы: д.ф.м.н., профессор Гольцман Г.Н., д.ф.м.н., профессор Чулкова Г.М.