МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»

Физический
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. декана
физического факультета _____ Малышев А.И.

« 30 » августа 2017г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Физика поверхности полупроводников и систем с пониженной размерностью
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
бакалавриат
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
03.03.02 «Физика»
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
Физика конденсированного состояния
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)
бакалавр
(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения
очно-заочная
(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород
2017
год набора 2014

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физика поверхности полупроводников и систем пониженной размерности» относится к вариативной части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 03.03.02 Физика. Преподается в 9 семестре 5 курса. Для усвоения данного курса необходимо сначала освоить математический и естественнонаучный цикл дисциплин. Очень важно, чтобы в перечень предшествующих теоретических дисциплин входили «Электродинамика», «Квантовая механика», «Кристаллография», «Физика полупроводников».

Целью освоения дисциплины «Физика поверхности полупроводников и систем пониженной размерности» является

- изучение теории и физики электронных явлений на поверхности полупроводника в МДП-структурах и квантово-размерных структурах.

- освоение теоретических знаний о принципах работы ряда полупроводниковых приборов, таких как полевые транзисторы, цифровые интегральные схемы, элементы полупроводниковой памяти, приборы и интегральные схемы с переносом заряда.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	**Планируемые результаты обучения по дисциплине**
ПК-1. - способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	З1 (ПК-1) Знание тенденций и перспектив развития физики поверхности полупроводников и систем пониженной размерности, У1 (ПК-1) Умение использовать специализированные знания в области физики поверхности полупроводников и систем пониженной размерности для освоения дисциплин в данной области; В1 (ПК-1) Владение опытом формулировки цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития физики поверхности полупроводников и систем пониженной размерности.
ПК-3. - готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований	З1 (ПК-3) Знание теории и современных методов физических исследований в области физики поверхности полупроводников и систем пониженной размерности; У1 (ПК-3) Умение организовать и провести экспериментальные исследования с применением современных средств и методов; В1 (ПК-3) Опыт организации и проведения экспериментальных исследований электронных явлений в приповерхностной области полупроводника с применением современных средств и методов.
ПК-4. - способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	З1 (ПК-4) Знание особенностей применения на практике профессиональных знаний и умений У1 (ПК-4) Умение делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований; В1 (ПК-4) Опыт применения профессиональных знаний и умений при исследовании электронных явлений в полупроводниках с областями пространственного заряда.

3. Структура и содержание дисциплины «Физика поверхности полупроводников и систем пониженной размерности**»**

Объем дисциплины составляет 6 зачетных единиц, всего 216 часов, из которых 34 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (16 часов занятия лекционного типа, 16 часов занятия семинарского типа (практические занятия), в том числе 2 часа - мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа - мероприятия промежуточной аттестации), 182 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	**Всего (часы)**	**В том числе**				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				**Самостоятельная работа обучающегося, часы**
		Занятия лекционного типа	**Занятия семинарского типа**	**Занятия лабораторного типа**	**Всего**	
	Очно-заочное	Очно-заочное	Очно-заочное	Очно-заочное	Очно-заочное	Очно-заочное
1. Введение	12	1	1		2	10
2. Теория электронных явлений в полупроводниках с ОПЗ	58	6	6		12	46
3. Квантовые размерные эффекты на поверхности полупроводника	20	2	2		4	16
4. Поверхностная рекомбинация	12	1	1		2	10
5. Атомарно-чистая и реальная поверхность полупроводников	12	1	1		2	10
6. Физика МДП структур	52	6	6		12	40
7. Приборы с зарядовой связью	12	1	1		2	10
В т.ч.текущий контроль	2		2		2	
Промежуточная аттестация - **Экзамен**						

Содержание разделов дисциплины

№ п/п	**Наименование раздела дисциплины**	**Содержание раздела**	**Форма проведения занятия**	**Форма текущего контроля***
1	Введение	Роль и место поверхности полупроводников и МДП-структур в науке и технике. История развития физики полупроводников и МДП-структур. Вклад русских и зарубежных ученых. Современное состояние науки и практических применений и перспективы развития.	лекция	

2	Введение в теорию электронных явлений на поверхности полупроводников.	Поверхностные состояния и заряды. Область пространственного заряда (ОПЗ) в полупроводнике, примыкающая к поверхности. Энергетические зонные диаграммы приповерхностнной области полупроводника. Феноменологическая теория ОПЗ. Плотность объемного заряда. Распределение электростатического потенциала в ОПЗ. Обогащенный,обедненный и инверсионный слои. Зависимости поверхностного и объемного зарядов от изгиба зон. Работа выхода. Потенциал поверхности. Поверхностная фотоэдс. Барьерная, барьерно-ловушечная и демберовская фотоэдс. Измерение потенциала поверхности и его изменений методом динамического и статического конденсатора. Поверхностная проводимость. Измерение поверхностной проводимости. Зависимость проводимости и подвижности от изгиба зон. Определение изгиба зон на поверхности полупроводника из измерений поверхностной проводимости. Эффект поля. Общая характеристика эффекта поля. Квазистационарный эффект поля и методика его измерения. Экспериментальные методики исследования эффекта поля в импульсных и переменных полях. Определение параметров поверхности полупроводника и поверхностных состояний из измерений эффекта поля.	лекция	
3	Квантовые размерные эффекты на поверхности полупроводника	Локализация электронов и образование двумерного газа. Двумерная поверхностная проводимость. Гигантские осцилляции проводимости в магнитном поле. Квантовый эффект Холла. Фотоэлектрическая спектроскопия квантово-размерных гетеронаноструктуры.	лекция	
4	Поверхностная рекомбинация	Скорость поверхностной рекомбинации. Локализация электронов и образование двумерного газа. Двумерная поверхностная проводимость. Гигантские осцилляции проводимости в магнитном поле. Квантовый эффект Холла. Фотоэлектрическая спектроскопия квантово-размерных гетеронаноструктуры.	лекция	
5	Атомарно-чистая и реальная поверхность полупроводников	Получение и свойства атомарно-чистых поверхностей полупроводника. Структура. Плотность и энергетический спектр поверхностных состояний. Реальная поверхность полупроводника. Способы получения. Некоторые свойства реальной поверхности. Пассивированная поверхность. Физический и химический способы пассивации.	лекция	
6	Физика МДП структур	Феноменологическая теория МДП-структуры. Поверхностная и барьерная ем-	лекция	

		кости и их зависимости от изгиба зон, уровня легирования полупроводника, плотности и энергетического распределения поверхностных состояний. Эквивалентные схемы МДП-структуры. Высокочастотная и низкочастотная вольт-фарадные характеристики (ВФХ) МДП-структуры. Методы измерения. Определение основных параметров МДП- структуры из измерений высокочастотной ВФХ. Неравновесная емкость МДП-структуры. Методика измерения неравновесной емкости. Определение времени жизни и скорости поверхностной рекомбинации из анализа кинетики неравновесной емкости. Гистерезисные явления в МДП-структурах. Способы стабилизации МДП-структур при электронном и ионном типах гстерезиса. Использование явления зарядки состояний на границе раздела SiO2/Si3N4 в МНОП-структуре для создания элементов полупроводниковой памяти.		
7	Приборы с зарядовой связью	Использование явления неравновесного обеднения в полупроводнике в МДП-структуре для создания приборов с переносом заряда. Принцип работы фоточувствительных ПЗС матриц.	лекция	

4. Образовательные технологии

В процессе изучения дисциплины «Физика поверхности полупроводников и систем пониженной размерности» используются следующие образовательные технологии: на лекциях – диалоговая форма проведения лекций и проблемный метод изложения материала.

5. Учебно-методическое обеспечение, формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа включает в себя теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы,

Осуществляется подготовка к экзамену по вопросам

1. Феноменологическая теория области пространственного заряда полупроводника. Плотность пространственного заряда. Распределение потенциала в ОПЗ. Обогащенный, обедненный и инверсионный поверхностные слои.
2. Феноменологическая теория области пространственного заряда полупроводника. Зависимость поверхностного и объемного зарядов от изгиба зон.
3. Феноменологическая теория области пространственного заряда полупроводника. Заряд поверхностных состояний. Работа выхода и потенциал поверхности. Зависимость работы выхода от изгиба зон.

4. Поверхностная фотоэдс. Фотоэдс Дембера. Барьерная поверхностная фотоэдс (зависимость от изгиба зон и от уровня фотовозбуждения).
5. Поверхностная фотоэдс. Барьерно-ловушечная поверхностная фотоэдс (зависимость от уровня фото возбуждения).
6. Измерение потенциала поверхности и его изменений методом динамического и статического конденсатора.
7. Поверхностная проводимость. Зависимости поверхностной проводимости и подвижности от изгиба зон.
8. Измерение поверхностной проводимости. Определение изгиба зон на поверхности полупроводника из измерений поверхностной проводимости.
9. Барьерная фотопроводимость полупроводников.
10. Эффект поля. Экспериментальные методы измерения эффекта поля на импульсных и синусоидальных сигналах. Определение характеристик поверхности полупроводника из этих измерений.
11. Поверхностная емкость. Барьерная емкость. Емкость поверхностных состояний. Зависимость от частоты.
12. Понятие об МДП-структуре. Применяемые материалы и конструкция. Идеальная МДП-структура.
13. Емкость МДП-структуры. Зависимость от изгиба зон, напряжения и частоты.
14. Явление неравновесного обеднения поверхности полупроводника в МДП-структуре. Определение профиля распределения примеси и времени жизни из измерений неравновесной емкости.
15. Феноменологическая теория поверхностной рекомбинации. Методы определения скорости поверхностной рекомбинации.
16. Методы получения и свойства атомарно-чистых поверхностей полупроводников.
17. Методы получения и свойства реальных и пассивированных поверхностей полупроводников.
18. Нестабильности в МДП-структурах. Гистерезисные явления.
19. Феноменологическая теория явления памяти в МНОП-структурах.
20. Неравновесное обеднение МДП структуры. Приборы с зарядовой связью
21. Элементы памяти на квантово-размерных структурах

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования

Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений) приведён выше (раздел 2). Ниже приведена таблица образовательных дескрипторов (отличительных признаков уровней освоения компетенций).

Уровень освоения компетенции	Отличительные признаки
Начальный	- заложены основы знаний основных задач, направлений, тенденций и перспектив развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники; - способность сформулировать методологическое обоснование научного исследования и технической разработки в области электроники; - корректно объясняет проблемы в современном развитии электронной промышленности…
Продвинутый	- изучен передовой отечественный и зарубежный научный опыт и достижения в области электроники, микро - и наноэлектроники; - излагает методологические основы и принципы современной технологии производства изделий электроники; - умеет оценивать научную значимость и перспективы прикладного использования результатов исследований в области электроники, микро и наноэлектроники; - владеет навыками анализа и идентификации новых проблем и областей исследования в области электроники и микроэлектроники …
Высокий	- имеется подробное представление о тенденциях и перспективах развития электроники микро и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники; - умение предлагать новые направления в области научных исследований и разработок, новые методологические подходы к решению задач в области электроники и наноэлектроники; - владение современной научной терминологией, основными и новейшими теоретическими и экспериментальными подходами в передовых направлениях электроники, микро - и наноэлектроники...

6.2. Описание шкал оценивания

При выставлении экзаменационной оценки, т.е. в ходе промежуточной аттестации, применяется семибальная шкала, которая по окончании обучения (в дипломе магистра) трансформируется в пятибалльную. Обе шкалы привязаны к 100-бальной системе, в которой баллы набираются в ходе текущего контроля при сдаче допусков и отчетов по лабораторным работам и непосредственно на экзамене.

По итогам освоения дисциплины сдается экзамен.

Критерии выставления оценки при сдаче экзамена

Баллы	Семибальная шкала	Описание семибальной шкалы	Пятибальная шкала
90-100	5,5 Превосходно	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.	5 отлично
80-89	5 отлично	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на дополнительные вопросы допускаются незначительные не-	

		точности.	
75-79	4,5 очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета и отвечает с небольшими неточностями.	4 хорошо
70-74	4 хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает средний уровень знания вопросов билета и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).	
60-69	3 удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий отвечая с наводящими вопросами преподавателя.	3 удовлетворительно
40-59	2 неудовлетворительно	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.	2 неудовлетворительно
<40	1 плохо	Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией.	1 плохо

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующих этапы формирования компетенций

Критерии выставления оценки при сдаче экзамена

Баллы	оценка	Описание шкалы оценивания
95-100 90-94 85-89	5 отлично	Отличная подготовка. Студент отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.
80-84 75-79 70-74	4 хорошо	Хорошая подготовка. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).
67-69 64-66 60-63	3 удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий, но не отвечает на дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).
40-59	2 неудовлетворительно	Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.
< 40	1 плохо	Уровень знаний ниже порогового или полное отсутствие знаний. Для принятия окончательного решения необходимо назначить комиссию по переэкзаменовке.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. А.В.Ржанов. Электронные процессы на поверхности полупроводников. М., Наука, 1971 г. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=76115
2. С.Зи. Физика полупроводниковых приборов. т.2, М.. Энергия, 1984г. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=324624
3. Овсюк В.Н. Электронные процессы в полупроводниках с областями пространственного заряда. 1984. Новосибирск, Издательство “Наука”, Сибирское отделение, с. 252. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=77724&DB=1

б) дополнительная литература:

1. С.В. Тихов. Неравновесные процессы в МДП-структурах. Горький, ГГУ, 1985 г. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=25206
2. Ф.Ф.Волькенштейн. Электронные процессы на поверхности полупроводников при хемосорбии. М., Наука, 1987 г. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=76307
3. В.Г.Литовченко, А.П.Горбань. Основы физики микроэлектронных систем металл – диэлектрик – полупроводник. Киев, Наукова думка,
4. 1978 г. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=319539
5. Литовченко В. Г. - Основы физики полупроводниковых слоистых систем. - Киев: Наукова думка, 1980. - 282 с. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=76089&DB=1
6. А.В. Ржанов. Свойства структур металл – диэлектрик – полупроводник. М., Наука, 1976 г. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=319645
7. Карпович И. А., Филатов Д. О - Фотоэлектрическая диагностика квантово-размерных гетероструктур: учеб. пособие. - Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 1999. - 80 с. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=30030

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническое обеспечение дисциплины «Физика поверхности полупроводников и систем пониженной размерности» обусловлено наличием необходимого количества учебников в библиотеке, некоторые из них представлены на сайте физического факультета в электронном виде.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.03.02 – «Физика».

Автор (ы) _____ к.ф.-м.н. доцент А.П. Горшков

Рецензент (ы) _____

Зав. Кафедрой ФПО _____ д.ф.-м.н. профессор Д. А. Павлов

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от « 30 » августа 2017 г., протокол № б/н

Председатель учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ _____ Сдобняков В.В.