

АННОТАЦИЯ дисциплины «Физика полупроводниковых приборов»

Объем трудоемкости: 5 зачетные единицы (180 часа, из них – 70 ч. аудиторной нагрузки: лекционных 14 ч., лабораторных 56 ч., 74 ч. самостоятельной работы)

Цели и задачи изучения дисциплины.

Цель освоения дисциплины.

Целью учебной дисциплины «Физика полупроводниковых приборов» является выработка у магистров компетенций, включающих систему взглядов на представление о физических основах (принципах) работы современных полупроводниковых приборов, действие которых основано на свойствах контакта металл-полупроводник, p-n перехода, гетероперехода, структуры металл-диэлектрик-полупроводник, более сложных (транзисторных) структур, включающих названные, однородных структур с междолинным переносом и других.

Задачи дисциплины

Основные задачи дисциплины являются:

- показать связь основных, выполняемых полупроводниковыми приборами функций (преобразование, перестройка, усиление, переключение, генерация сигналов и др.) с фундаментальными (вольт-амперной, вольт-фарадной и др.) физическими характеристиками полупроводниковых структур;
- показать фундаментальную роль энергетического спектра полупроводниковой структуры в реализации её приборных характеристик;
- особое внимание уделить связи параметров конкретных приборов (детекторных, параметрических, настроенных, туннельных, лавинно-пролётных и др. диодов, биполярных, гетеробиполярных и полевых транзисторов) со свойствами материала, конструкцией и технологией прибора;
- показать пути улучшения параметров (особенно повышения рабочих частот, эффективности приборов, уровня выходной мощности, диапазона рабочих температур и т.д.) на основе использования новых материалов и новых технологий.

Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физика полупроводниковых приборов» по направлению подготовки Информационные процессы и системы 03.04.02 Физика (квалификация (степень) "магистр") относится к учебному циклу дисциплин по выбору. Дисциплина предназначена для подготовки магистров к практической работе в области исследований, технологий и эксплуатации полупроводниковых приборов как элементной базы вычислительной техники. Основное внимание уделяется изучению физических процессов в полупроводниковых приборах, методам их исследования и анализа.

Программа дисциплины «Физика полупроводниковых приборов» согласуется со всеми учебными программами базовой и вариативной частей учебного плана.

Дисциплина «Физика полупроводниковых приборов» предназначена для подготовки магистров к практической работе в области исследований, технологий и эксплуатации приборов и технологий.

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций: **ОПК-6, ПК-1.**

№ п.п.	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	уметь	владеть
1.	ОПК-6 ПК-1	Способностью использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта	измерения и анализа наиболее важных характеристик диодов и транзисторов, (с учётом практики лабораторных работ по курсу), простейших расчётов параметров приборов, подбора материала и конструкции для достижения необходимых параметров, принципы действия важнейших полупроводниковых приборов; связь параметров приборов со свойствами материала, физическими процессами в полупроводниковых структурах, их конструкцией и технологией изготовления; пути улучшения параметров за счёт использования новых материалов (новых соединений, твёрдых растворов, гетероструктур и сверхрешёток на их основе);	обладать способностью использовать знания современных проблем физики, новейших достижений физики в своей научно-исследовательской деятельности, самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики (в соответствии с профилем магистерской программы) и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта	свободно владеть фундаментальными разделами физики, необходимым и для решения научно-исследовательских задач методами физических исследований в сфере процессов получения, передачи и обработки информации и владеть компьютерными методами моделирования физических явлений; методами автоматизации и физического эксперимента

Структура и содержание дисциплины

Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет **6** зач.ед. (216 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице.

Вид учебной работы	Все го часов	Семестры (часы)	
		1	-
		1	-

Контактная работа, в том числе:		70,3	70,3	
Аудиторные занятия (всего):		70	70	
Занятия лекционного типа		14	14	-
Лабораторные занятия		56	56	-
Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия)		-	-	-
		-	-	-
Иная контактная работа:		0,3	0,3	
Контроль самостоятельной работы (КСР)		-	-	
Промежуточная аттестация (ИКР)		0,3	0,3	
Самостоятельная работа, в том числе:		74	74	
Курсовая работа		-	-	-
Проработка учебного (теоретического) материала		30	30	-
Выполнение индивидуальных заданий (подготовка сообщений, презентаций)		24	24	-
Реферат		-	-	-
Подготовка к текущему контролю		20	20	-
Контроль:				
Подготовка к экзамену		35,7	35,7	
Общая трудоемкость	час.	180	180	-
	в том числе контактная работа	70,3	70,3	
	зач. ед	5	5	

Структура дисциплины:

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины. Разделы дисциплины, изучаемые в 1 семестре (для магистров ОФО):

№	Наименование разделов (тем)	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1	2	3	4	5	6	7
1	Введение. Потенциальный барьер в р-п-переходах. Протекание тока в р-п-переходе.	6,5	0,5	-		6
2	ВАХ р-п перехода	10,5	0,5	-	4	6
3	ВАХ р-п перехода в специальных случаях	4	1	-		3
4	Диод при высоких обратных напряжениях (лавинный, туннельный и тепловой пробой).	3	1	-		2
5	Туннельный механизм пробоя р-п-перехода. Туннельный диод. Вольт-амперная характеристика.	9	1	-	4	4

6	Гетеропереходы и варизонные структуры.	2,5	0,5	-		2
7	Контакт металл-полупроводник, его энергетическая диаграмма	7,5	0,5	-	4	3
8	P-n-переход на переменном токе.	5	1	-		4
9	Методы исследования полупроводников.	3	1	-		2
10	Биполярные транзисторы. Принцип действия.	13,5	0,5	-	8	5
11	Особенности характеристики биполярных транзисторов.	3,5	0,5	-		3
12	Транзистор как активный элемент цепи переменного тока.	13	1	-	8	4
13	Основные физические механизмы возникновения шумов.	4	1	-		3
14	Биполярный транзистор в режиме насыщения.	11	1	-	8	2
15	Планарная технология - основа массового производства дискретных полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.	4	1	-		3
16	Динисторы, тиристоры и другие приборы с многослойной структурой	7	1	-	4	2
17	Эффект поля в полупроводниках. МОП-конденсатор, его вольт-фарадные характеристики. Полевые транзисторы с изолированным затвором, их устройство и принцип работы. Приборы с зарядовой связью.	12	1	-	8	3
18	Полупроводниковые СВЧ-приборы, их применение для усиления и генерации СВЧ-колебаний.	4		-		4
19	Классификация приборов полупроводниковой оптоэлектроники.	3		-		3
20	Фотовольтаические приемники (фотодиоды).	6		-	4	2
21	Полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии.	4		-		4
22	Полупроводниковые детекторы ядерных излучений.	2		-		2
23	Светодиоды и полупроводниковые лазеры.	6		-	4	2

	<i>Итого по дисциплине:</i>		14	-	56	74
--	-----------------------------	--	----	---	----	----

**Содержание разделов дисциплины:
Занятия лекционного типа**

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4
1	Введение. Потенциальный барьер в р-п-переходах. Протекание тока в р-п-переходе.	Введение в дисциплину. Классификация полупроводниковых приборов Распределение электрического поля и потенциала в резких и плавных р-п-переходах, контактная разность потенциалов. Влияние напряжения смещения на толщину области пространственного заряда. Инжекция неосновных носителей заряда. Вольт-амперная характеристика тонкого р-п-перехода при низком уровне инжекции (модель Шокли). Влияние температуры на характеристики диодов, максимальная рабочая температура. Влияние конечной толщины базы на величину тока насыщения (диод с тонкой базой).	Ответы на контрольные вопросы (КВ) / выполнение лабораторной работы (ЛР)
2	ВАХ р-п перехода.	Вольт-амперная характеристика р-п-перехода в случае генерации и рекомбинации носителей в области пространственного заряда (модель Са-Нойса-Шокли) при прямом и обратном смещении.	КВ / ЛР
3	ВАХ р-п перехода в специальных случаях	Вольт-амперная характеристика р-п-перехода при высоком уровне инжекции (учет эффектов модуляции проводимости и рекомбинации в сильном тянущем электрическом поле). Вольт-амперная характеристика р-і-п-диода.	КВ / ЛР
4	Диод при высоких обратных напряжениях (лавинный, туннельный и тепловой пробой).	Ударная ионизация и лавинный механизм пробоя. Коэффициенты ударной ионизации, их связь с зонной структурой полупроводника и зависимость от напряженности электрического поля. Коэффициенты умножения. Методы определения коэффициентов ударной ионизации. Влияние температуры на напряжение лавинного пробоя. Пробой неплоского р-п-перехода. Микроплазмы. Методы защиты р-п-переходов от пробоя (охранные кольца, фаски). Стабилитроны, их основные характеристики.	КВ / ЛР

5	<p>Туннельный механизм пробоя р-п-перехода.</p> <p>Туннельный диод.</p> <p>Вольт-амперная характеристика.</p>	<p>Вероятность туннелирования электрона из валентной зоны в зону проводимости в сильном электрическом поле. Обратная ветвь вольт-амперной характеристики при туннельном пробое р-п-перехода. Влияние температуры на напряжение туннельного пробоя.</p> <p>Вольт-амперная характеристика туннельного диода. Туннелирование с участием фононов и примесей в непрямозонных полупроводниках. Туннельная спектроскопия. Избыточные токи в туннельных диодах. Выбор материалов и уровня легирования туннельных диодов. Обращенные диоды. Параметр нелинейности вольт-амперной характеристики обращенного диода. Быстродействие приборов, использующих туннельный эффект, и их применение в СВЧ-электронике.</p>	КВ / ЛР
6	<p>Гетеропереходы и варизонные структуры.</p>	<p>Энергетическая диаграмма гетероперехода. Факторы, влияющие на величину разрыва зон. Односторонний характер инжекции в гетеропереходе. Подбор гетеропереходных пар.</p> <p>Одиночные квантовые ямы и сверхрешетки, качественное описание их электронного спектра. Приборы на основе этих структур: резонансно-туннельный диод.</p>	КВ / ЛР
7	<p>Контакт металл-полупроводник, его энергетическая диаграмма</p>	<p>Барьер Шоттки и факторы, определяющие его высоту. Вольт-амперная характеристика барьера Шоттки (модель термоэлектронной эмиссии). Термополевая и полевая эмиссия. Создание омических контактов. Быстродействие диодов Шоттки.</p>	КВ / ЛР
8	<p>Р-п-переход на переменном токе.</p>	<p>Реакция тонкого р-п-перехода на малый переменный сигнал. Зарядовая (барьерная) емкость р-п-перехода, ее зависимость от напряжения. Емкостная спектроскопия полупроводников. Варикапы и варакторы, их применение.</p> <p>Диффузионная емкость. Импульсные характеристики диодов. Переходные процессы при включении и выключении тока и напряжения на диоде. Время восстановления и его связь с характеристиками неравновесных носителей. Послеинжекционная э.д.с. Диоды с накоплением заряда.</p>	КВ / ЛР

9	Методы исследования полупроводников	Метод емкостной спектроскопии глубоких уровней (DLTS) и его применение для определения параметров рекомбинационных центров в полупроводниках	КВ / ЛР
10	Биполярные транзисторы.	Принцип действия. Коэффициент усиления транзистора по току, его связь с коэффициентом инжекции эмиттера и коэффициентом переноса носителей через базу. Дрейфовые транзисторы. Влияние генерационно-рекомбинационных токов и модуляции проводимости базы на характеристики транзисторов. Эффект "сжатия" эмиттерного тока. Эффект Эрли. Оптимизация характеристик транзистора путем выбора конструкции, уровня и профиля легирования.	КВ / ЛР
11	Особенности характеристики биполярных транзисторов.	Транзистор при высоком напряжении на коллекторе, условия пробоя в схемах с общей базой и общим эмиттером. Высокочастотные свойства и быстродействие транзисторов.	КВ / ЛР
12	Транзистор как активный элемент цепи переменного тока.	Схемы включения транзистора. h-параметры транзистора при малом уровне сигнала, их связь с конструкцией транзистора. Эквивалентная схема транзистора на низкой частоте.	КВ / ЛР
13	Основные физические механизмы возникновения шумов.	Шумы в полупроводниках и полупроводниковых приборах (тепловой, дробовой, избыточный, поверхностный). Оптимизация схем на биполярных транзисторах по уровню шума.	КВ / ЛР
14	Биполярный транзистор в режиме насыщения.	Работа биполярного транзистора в режиме насыщения. Особенности схемотехники современных цифровых интегральных схем на биполярных транзисторах (ТТЛ, ТТЛШ, И2Л).	КВ / ЛР
15	Планарная технология - основа массового производства дискретных полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.	Основные составляющие планарной технологии: фотолитография, плазменное травление, технология локальной диффузии, ионная имплантация. Методы изоляции элементов в интегральных схемах.	КВ / ЛР
16	Динисторы, тиристоры и другие приборы с многослойной структурой	Вольт-амперная характеристика динистора, тиристора и факторы, ее определяющие. Тиристор с "закороченным" катодом. Запираемые тиристоры. Фототиристоры. Времена включения и выключения тиристоров. Симистор.	КВ / ЛР

<p>17</p>	<p>Эффект поля в полупроводниках. МОП-конденсатор, его вольт-фарадные характеристики. Полевые транзисторы с изолированным затвором, их устройство и принцип работы. Приборы с зарядовой связью.</p>	<p>Полевые транзисторы с изолированным затвором, их устройство и принцип работы. Вольт-амперная характеристика полевого транзистора с МОП-структурой. Полевые транзисторы с коротким каналом. Быстродействие полевых транзисторов и пути его дальнейшего повышения (эффект всплеска скорости, баллистический перенос, НЕМТ-транзисторы). Применение МОП-транзисторов в интегральных схемах. КМОП-структуры. Конструкции полевых транзисторов для энергонезависимых постоянных запоминающих устройств (структура с "плавающим" затвором, МНОП-структура). Флэш-память. Полевые транзисторы с р-п-переходом и барьером Шоттки, их устройство и принцип работы. Шумы в полевых транзисторах. Принцип осуществления зарядовой связи. Эффективность переноса. Структуры с поверхностным и объемным каналом. Функциональные применения ПЗС в цифровых, аналоговых устройствах, устройствах формирования изображений. Шумы в приборах с зарядовой связью.</p>	<p>КВ / ЛР</p>
<p>18</p>	<p>Полупроводниковые СВЧ-приборы, их применение для усиления и генерации СВЧ-колебаний.</p>	<p>Методы получения отрицательной дифференциальной проводимости. Приборы, основанные на эффекте междолинного переноса электронов (эффекте Ганна). Разогрев электронов в сильном электрическом поле. Флуктуационная неустойчивость и образование доменов. Критерий Крёмера. Диод Ганна, режимы его работы, частота генерации. Физические процессы, ограничивающие максимальную частоту генерации. Генерация СВЧ-колебаний с помощью лавинно-пролетных и инжекционно-пролетных диодов. Конструкция диодов. Вольт-амперная характеристика структуры металл-полупроводник-металл в режиме прокола. Импеданс диодов на высокой частоте и механизм формирования отрицательной дифференциальной проводимости. Факторы, ограничивающие к.п.д. и максимальную рабочую частоту генераторов на лавинно-пролетных диодах. Туннельно-пролетные диоды.</p>	<p>КВ / ЛР</p>

19	Классификация приборов полупроводниковой оптоэлектроники	Механизмы поглощения электромагнитного излучения в полупроводниках. Фотоприемники, основанные на явлении собственной и примесной фотопроводимости (фотосопротивления). Вольт-ваттовая чувствительность. Шумы в фотоприемниках, пороговая чувствительность, обнаружительная способностью. Режим ограничения фоном в инфракрасных фотоприемниках. Спектральные характеристики. Быстродействие. ИК-фотоприемники с блокированной примесной зоной (ВІВ). Фотоприемники на переходах между уровнями размерного квантования в сверхрешетках (QWIP)	КВ / ЛР
20	Фотовольтаические приемники (фотодиоды).	Квантовая эффективность и спектральные характеристики. Лавинные фотодиоды. Шумы и быстродействие лавинных фотодиодов, их связь с конструкцией и характеристиками	КВ / ЛР
21	Полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии.	Принцип действия. Нагрузочные вольт-амперные характеристики. К.п.д. преобразователя и его зависимость от ширины запрещенной зоны	КВ / ЛР
22	Полупроводниковые детекторы ядерных излучений.	Принципы действия. Дрейфовый детектор, его энергетическое разрешение и	КВ / ЛР
23	Светодиоды и полупроводниковые лазеры.	Излучательная рекомбинация в полупроводниках, механизмы излучательной рекомбинации. Внутренний квантовый выход излучения. Внешний квантовый выход и его связь с конструкцией светодиодов. Инфракрасные светодиоды. Белые светодиоды. Инжекционные полупроводниковые лазеры. Условие возникновения вынужденного излучения.	КВ / ЛР

Занятия семинарского типа

Согласно учебному плану семинарского занятия по данной дисциплине не предусмотрены.

Лабораторные работы

№ Л Р	Наименование лабораторной работы	Содержание лабораторной работы	Форма текуще го контро ля
1	2	3	4
1	Исследование вольт-амперная характеристика р-п-перехода.	Исследование вольт-амперная характеристика диода, сравнительный анализ ВАХ различных диодов.	Защита отчета, ответы на вопросы
2	Исследование туннельного диода.	ВАХ туннельного диода. ВАХ стабилитрона.	Защита отчета, ответы на вопросы
3	Исследование контакта металл-полупроводник.	ВАХ контакта металл-полупроводник. ВАХ различных по типу диодов Шотки.	Защита отчета, ответы на вопросы
4	Исследование биполярных транзисторов.	ВАХ биполярного транзистора.	Защита отчета, ответы на вопросы
5	Исследование схем включения транзистора в цепи переменного тока.	ВАХ транзистора в схеме с общей базой, коллектором и эмиттером.	Защита отчета, ответы на вопросы
6	Исследование тиристора.	ВАХ тиристора. Схема включения в ключевом режиме.	Защита отчета, ответы на вопросы
7	Исследование МОП-конденсатора и полевого транзистора.	ВАХ МОП конденсатора. ВАХ полевого транзистора. Схема включения полевого транзистора.	Защита отчета, ответы на вопросы

8	Исследование фотодиоды.	ВАХ фотодиода. Основные характеристики ВАХ фотодиода. КПД фотодиода.	Защита отчета, ответы на вопросы
9	Исследование светодиодов.	ВАХ светодиодов. Фотоэлектрические характеристики фотодиодов.	Защита отчета, ответы на вопросы

Лабораторные работы выполняются в специализированном оборудовании в лаборатории.

В результате выполнения лабораторных работ у магистров формируются и оцениваются требуемые ФГОС и ООП по направлению **03.04.02 Физика** профиль "Информационные процессы и системы" компетенции: ОПК-6, ПК-1.

Основная литература:

1. Барыбин, А.А. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2008. — 424 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2105>
2. Ищенко, А.А. Нанокремний: свойства, получение, применение, методы исследования и контроля [Электронный ресурс] : монография / А.А. Ищенко, Г.В. Фетисов, Л.А. Асланов. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2011. — 648 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5271>
3. Акципетров, О.А. Нелинейная оптика кремния и кремниевых наноструктур [Электронный ресурс] : монография / О.А. Акципетров, И.М. Баранова, К.Н. Евтюхов. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2012. — 544 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5255>
4. Заводинский, В.Г. Компьютерное моделирование наночастиц и наносистем [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2013. — 176 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/59650>
5. Бурбаева, Н.В. Основы полупроводниковой электроники [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2012. — 312 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/5261>
6. Бурбаева, Н.В. Сборник задач по полупроводниковой электронике [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н.В. Бурбаева, Т.С. Днепровская. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2006. — 168 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2126>

Автор РПД

Л.Р. Григорьян