

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Беспалов Владимир Александрович

Должность: Ректор МИЭТ

Дата подписания: 01.09.2023 15:11:43

Уникальный программный ключ:

ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736d76c8f5bea882b8d602

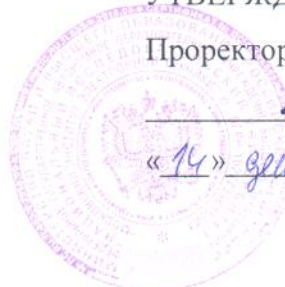
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

И.Г. Игнатова

«14» сентября 2020 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Твердотельная электроника»

Направление подготовки – 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Направленность (профиль) – «Квантовые приборы и наноэлектроника»

Москва 2020

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

Компетенция ПК- 1 «Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования» сформулирована на основе следующих профессиональных стандартов:

40.040 Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков

Обобщенная трудовая функция: Разработка электрических схем и характеристика стандартных ячеек библиотеки

Трудовые функции: А/01.6 «Разработка электрических схем стандартных ячеек библиотеки»

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения компетенций/подкомпетенций
ПК-1.ТТЭ Способен строить физические и математические модели основных полупроводниковых приборов	– анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования; – участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением современных информационных технологий и технических средств;	Знает: физические принципы работы основных активных приборов твердотельной электроники, их характеристики и электрические модели. Умеет: использовать методы аналитического расчета электрических параметров и моделей основных полупроводниковых приборов. Опыт деятельности: по расчету электрических параметров и моделей основных полупроводниковых приборов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Входные требования к дисциплине – компетенции, формируемые в дисциплинах математика, физика, материалы электронной техники, электротехника, физика конденсированного состояния, квантовая механика и статистическая физика. В частности:

- "Математика" – дифференциальные уравнения, теория вероятностей и математическая статистика (статистика электронов и дырок, процессы переноса, уравнения непрерывности, распределения электронов и дырок, частотные свойства приборов).
- "Физика" – механика, статистическая физика и термодинамика, электромагнетизм, квантовая механика, уравнения Максвелла, атомная физика.
- "Материалы электронной техники" – основные сведения о полупроводниковых, металлических и диэлектрических материалах, используемых в технологии формирования электронной компонентной базы и методах их создания.
- «Электротехника» – теория электрических цепей, методы анализа переходных процессов в линейных цепях, основы теории четырехполюсников.
- «Физика конденсированного состояния» – кристаллография, теория металлов, зонная теория твердого тела, эффект поля, квантовая статистика.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоёмкость (ЗЕ)	Общая трудоёмкость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная аттестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы (часы)	Практические занятия (часы)		
3	6	4	144	32	16	16	44	Экз (36)
4	7	4	144	32	16	-	60	Экз (36), КП
Всего		8	288	64	32	16	104	72

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия		
М1 р-п переходы	12	6	20	14	Опрос
					Контрольная работа № 1
					Тестирование (рубежный контроль)
					Защита лабораторных работ
М2 Биполярные транзисторы	10	4	8	14	Опрос
					Тестирование (рубежный контроль)
					Защита лабораторных работ
М3 МДП-транзисторы	10	6	4	16	Опрос
					Контрольная работа № 2
					Тестирование (рубежный контроль)
					Защита лабораторных работ
М4 Униполярные полупроводниковые приборы	12			15	Выполнение и защита курсового проекта
					Тестирование
М5 Приборы с отрицательным дифференциальным сопротивлением	10			15	Выполнение и защита курсового проекта
					Тестирование
М6 Магниточувствительные полупроводниковые приборы	4			15	Выполнение и защита курсового проекта
					Тестирование
М7 Приборы кремниевой нанoeлектроники	6			15	Выполнение и защита курсового проекта
					Тестирование

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
М1	1	2	Р-п переходы - классификация, структура. Равновесная энергетическая диаграмма. Токи в состоянии равновесия.
	2	2	Методика расчета параметров р-п перехода. Ступенчатые, линейные, диффузионные переходы.
	3	2	Неравновесное состояние р-п перехода. Граничные условия. Методы анализа полупроводниковых приборов. Необходимый набор уравнений.
	4	2	Модель и ВАХ идеализированного диода. Тепловой ток.
	5	2	ВАХ реального диода. Токи рекомбинации-генерации. Пробой р-п перехода.
	6	2	Механизмы инерционности диода. Барьерная и диффузионная емкости. Импульсные свойства диода. Эквивалентные схемы.
М2	7	2	Устройство и принцип действия биполярного транзистора. Модель Эберса-Молла. Статические характеристики идеализированного транзистора.
	8	2	Усилительные свойства транзистора. Коэффициенты передачи эмиттерного и базового токов. Частотные и импульсные свойства биполярного транзистора
	9	2	Моделирование биполярных транзисторов. Эквивалентные схемы для большого и малого сигналов.
	10	2	Дрейфовый транзистор. Модель Гуммеля-Пуна. Современные структуры биполярных транзисторов в СБИС.
	11	2	Гетеропереходные биполярные транзисторы. Структура и основные особенности. Энергетическая диаграмма. Варизонная база и квазиполя
М3	12	2	Эффект поля в идеальной МДП-структуре. Вольтфарадные характеристики. Особенности реальной структуры.
	13	2	Устройство и принцип действия МДП-транзистора. Идеализированная модель МДП-транзистора. Пороговое напряжение, способы его регулировки. Влияние потенциала подложки.
	14	2	Статические ВАХ реальных МДП-транзисторов с длинным каналом.
	15	2	Короткоканальные транзисторы. Электростатическое качество МДП-транзистора.
	16	2	Особенности моделирования МДП-транзисторов. Эквивалентные схемы и частотные характеристики идеализированного транзистора. Структуры КМДП-транзисторов в СБИС.
М4	17	2	Контакты металл-полупроводник. Энергетические диаграммы. Роль

			поверхности. Эффект Шоттки. Диодная теории выпрямления (теория термоэлектронной эмиссии). Диффузионная теории выпрямления. Диоды Шоттки. Туннельный ток. Инжекция дырок из металла. Эквивалентные схемы диодов Шоттки. Омические контакты к полупроводнику.
	18	2	Полевые транзисторы с управляющим р-п переходом.
	19	2	Полевые транзисторы с затвором Шоттки на арсениде галлия. Особенности проектирования. Оценка быстродействия.
	20	2	Приборы с зарядовой связью (ПЗС). Структура, принцип действия. Основные характеристики. Особенности применения.
	21	2	Энергонезависимые элементы памяти. МДП-транзисторы с плавающим затвором. Транзисторы типа МДОП и МНОП.
	22	2	Гетеропереходные полевые транзисторы с высокой подвижностью электронов.
М5	23	2	Приборы с отрицательным дифференциальным сопротивлением (негатроны). Общая характеристика. Типы ВАХ. Возможности применения. Вольтамперные диаграммы – состояния равновесия и их устойчивость. Искусственные негатроны. Бистабильный транзисторный триггер как негатрон. Λ -диоды на основе МДП транзисторов.
	24	2	Туннельные диоды. Энергетическая диаграмма. Принцип действия. Вольтамперная характеристика. Основные параметры и применение. Обращенные диоды. Особенности применения.
	25	2	Зависимость дрейфовой скорости электронов от напряженности электрического поля в арсениде галлия. Приборы на эффекте междолинного перехода электронов. Диод Ганна. Пролетная мода.
	26	2	Тиристоры. Структура тиристора. Двухтранзисторная модель. Вольтамперная характеристика. Управление тиристорами. Эффект dV/dt . Особенности применения. Расчет статической ВАХ тиристора в выключенном состоянии.
	27	2	Расчет статической ВАХ тиристора во включенном состоянии. Влияние Оже- рекомбинации и электронно-дырочного рассеяния на падение напряжения в открытом состоянии. Паразитные тиристоры. Эффект “защелки” в ИС на КМДП-транзисторах.
М6	28	2	Магниточувствительные полупроводниковые приборы. Основные гальваномагнитные явления. Датчики Холла.
	29	2	Датчики на основе эффекта магнитосопротивления. Магнитодиодный эффект. Магнитотранзисторы.
М7	30	2	Кремниевые наноэлектронные приборы. Основные тенденции развития наноэлектроники. Закон Мура. Эволюция КМОП-транзистора.
	31	2	Масштабирование МОПТ. Основные проблемы миниатюризации. Проблема тепловыделения и отвода тепла. Проблемы при миниатюризации межсоединений.

	32	2	Особенности и физические процессы в каналах наноразмерных МОПТ. Горячие электроны. Транзисторы технологии «кремний на изоляторе». Многозатворные МОПТ.
--	----	---	--

4.2. Практические занятия

№ модуля дисциплины	№ практического занятия	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
М1	1	2	Расчет параметров р-п переходов с различными примесными профилями (ступенчатый, линейный, диффузионный).
	2	2	Неравновесное состояние р-п перехода. Граничные условия. ВАХ идеализированного диода. Расчет тепловых токов. Барьерная емкость.
	3	2	ВАХ реального диода. Влияние токов рекомбинации-генерации. Высокий уровень инжекции. Пробой р-п перехода.
М2	4	2	Биполярный транзистор. Режимы работы. Распределение токов. Модель Эберса-Молла. Статические характеристики идеализированного транзистора.
	5	2	Особенности ВАХ реального транзистора. Сопротивления базы и тела коллектора. Эффект Эрли и его следствия. Параметры эквивалентной схемы.
М3	6	2	Эффект поля. Вольтфарадные характеристики идеальной МДП-структуры.
	7	2	Идеализированная модель МДП-транзистора. Пороговое напряжение, способы его регулировки. Влияние потенциала подложки.
	8	2	Подпороговый ток. Эффекты короткого канала. ВАХ реального МДП-транзистора. Контрольная работа.

4.3. Лабораторные работы

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
М1	1	4	Изучение ВАХ полупроводниковых диодов.
	2	4	Изучение ВАХ диодов Шоттки.
	3	4	Исследование переходных процессов в полупроводниковом диоде.
	4	4	Изучение механизмов пробоя в полупроводниковых диодах.
	5	4	Изучение ВФХ диодов Шоттки.

M3	6	4	Исследование статических характеристик МДП-транзисторов.
M2	7	4	Исследование статических характеристик биполярных транзисторов.
	8	4	Изучение динамических характеристик биполярных транзисторов.

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	Объем занятий (часы)	Вид СРС
M1	2	Проработка теоретического материала
	2	Проработка теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение домашнего задания. Подготовка к лабораторной работе.
	2	Проработка теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Подготовка к лабораторной работе. Выполнение домашнего задания. Расчет параметров р-п-перехода.
	2	Проработка теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение домашнего задания. Подготовка к лабораторной работе.
	2	Проработка теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение домашнего задания. Подготовка к лабораторной работе.
	4	Проработка теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение домашнего задания. Подготовка к лабораторной работе. Подготовка к тестированию.
M2	2	Проработка теоретического материала
	4	Проработка теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение домашнего задания. Подготовка к лабораторной работе.
	2	Проработка теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение домашнего задания.
	4	Проработка теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение домашнего задания. Подготовка к лабораторной работе.
	2	Проработка теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение домашнего задания. Подготовка к тестированию.
M3	2	Проработка теоретического материала
	4	Проработка теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение домашнего задания.
	4	Проработка теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение домашнего задания. Подготовка к лабораторной работе.

	2	Проработка теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение домашнего задания.
	4	Проработка теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Выполнение домашнего задания. Подготовка к тестированию.
M1-3	36	Подготовка к экзамену
M4	5	Проработка теоретического материала
	10	Проработка теоретического материала. Выполнение курсового проекта (часть 1, теория)
M5	5	Проработка теоретического материала
	10	Проработка теоретического материала. Выполнение курсового проекта (часть 1, расчет характеристик)
M6	5	Проработка теоретического материала
	10	Проработка теоретического материала. Выполнение курсового проекта (часть 2, теория)
M7	5	Проработка теоретического материала
	10	Проработка теоретического материала. Выполнение курсового проекта (часть 2, расчет характеристик)
M4-7	36	Подготовка к экзамену

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

1. Расчет параметров кремниевого интегрального п(р)-канального МОП-транзистора.
2. Расчет параметров кремниевого интегрального биполярного п-р-п транзистора.

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС// URL: , <http://orioks.miet.ru/>) :

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература

1. Старосельский В.И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : Учеб. пособие / В.И. Старосельский; Национальный исследовательский университет "МИЭТ"; [Под ред. Ю.А. Парменова]. - М. : Юрайт, 2019. - 463 с.
2. Твердотельная электроника : Лабораторный практикум. Ч. 1 : Универсальный лабораторный стенд. Диоды / Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ"; Под ред. Ю.А. Парменова, И.Н. Титовой. - М. : МИЭТ, 2014. - 108 с.
3. Твердотельная электроника : Лабораторный практикум. Ч. 2 : Диоды Шоттки. Транзисторы / Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ"; Под ред. Ю.А. Парменова, И.Н. Титовой. - М. : МИЭТ, 2014. - 96 с.

4. Титова И.Н. Физика полупроводниковых приборов: теория и практика : Учеб. пособие / И.Н. Титова; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2011. - 172 с.

Периодические издания

1. RUSSIAN MICROELECTRONICS. - : Springer, [2000] - . – URL: <http://link.springer.com/journal/11180> (дата обращения: 30.09.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
2. Известия вузов. Электроника : Научно-технический журнал / М-во образования и науки РФ; МИЭТ; Гл. ред. Ю.А. Чаплыгин. - М. : МИЭТ, 1996 - .
3. IEEE Transactions on Electron Devices. - USA : IEEE, [б.г.]. – URL: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=16> (дата обращения: 14.10.2020). – Режим доступа: по подписке МИЭТ

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. eLIBRARY.RU : Научная электронная библиотека : сайт. - Москва, 2000 - . - URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 30.09.2020). - Режим доступа: для зарегистрир. Пользователей
2. SCOPUS : Библиографическая и реферативная база данных научной периодики : сайт. – URL: www.scopus.com/ (дата обращения: 30.09.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В ходе реализации обучения используется смешанное обучение, сочетающее традиционные формы аудиторных занятий и взаимодействие в электронной образовательной среде.

В процессе обучения при проведении занятий и для самостоятельной работы используются **внутренние электронные ресурсы** (видеолекции, текстовые материалы лекций и практических занятий, указания к выполнению индивидуальных заданий, тестирование) в электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС <http://orioks.miet.ru>.

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: ОРИОКС «Домашние задания», новости, консультации, электронная почта преподавателя.

Дисциплина может быть реализована в дистанционном формате. При дистанционном обучении проводятся online лекции и практические занятия по Skype и Zoom. Применение данных технологий позволяет осуществлять при необходимости более оперативное взаимодействие преподавателя и студента.

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Помещение для самостоятельной работы	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC
Учебная лаборатория физики полупроводниковых приборов Ауд. 4235	Генератор сигналов произвольной формы типа Tektronix AWG5012 Модульный генератор импульсов Tektronix DTG 5274 Мультиметр типа Agilent 34411A Осциллограф смешанного сигнала типа Tektronix MSO4104 Прецизионный мультиметр типа Agilent 3458 A Универсальный генератор стандартных сигналов типа TEKTRONIX AFG3252 Цифровой запоминающий осциллограф типа Tektronix DPO4104 Базовая платформа NI ELVIS для лабораторных работ Вольтметр универсальный В7-21А Источник питания типа Agilent E3648A Мультиметр Agilent 34411A Осциллограф C1-93 Осциллограф смешанного	Не требуется

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
	сигнала типа Tektronix MSO44101 Универсальный генератор стандартных сигналов типа TEKTRONIX AFG3252 Характериограф TP-4805/3	
Лаборатория, оборудованная компьютерами и базовой платформой NI ELVIS для лабораторных работ	Компьютеры, базовая платформа NI ELVIS	Программное обеспечение National Instruments LabVIEW

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции ПК-1.ТТЭ «Строить простейшие физические и математические модели полупроводниковых приборов».

Фонды оценочных средств представлены отдельными документами и размещены в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

11.1. Особенности организации процесса обучения

Студенты, изучающие дисциплину, обязаны освоить материал модулей (Проработка материала подтверждается выполнением всех заданий практических и лабораторных занятий, сдачей тестов по дисциплине), выполнить и защитить курсовой проект, принять активное участие при проведении устного опроса на семинарах, обсуждении на лекциях и лабораторных работах

Лекции проводятся в мультимедийной аудитории в виде презентаций. Преподаватель выдает студентам конспекты лекций в формате ppt в электронном виде, и на каждой лекции студент, имея их в распечатанном виде к текущей лекции, может вести конспект лекции в виде заметок к ним.

Очевидно, что максимальная эффективность от работы на лекциях достигается при предварительной подготовке к ней – студент должен ознакомиться с предстоящей темой лекции и основными ее тезисами, предложенных преподавателем или найденных в рекомендуемой основной литературе, подготовить вопросы к лектору по заинтересовавшим его вопросам.

Практические занятия (семинары) проводятся под руководством преподавателя. Важной формой обучения, а также этапом подготовки к практическим занятиям является самопроверка знаний. В ходе самопроверки студент должен ответить на вопросы, рекомендованные для подготовки к практическому занятию, а также составить план-конспект развернутых ответов. Это поможет глубже усвоить пройденный материал и прочно закрепить его в памяти. Вопросы, указанные в плане практического занятия, являются наиболее существенными. Если при самопроверке окажется, что ответы на некоторые вопросы неясны, то надо вновь обратиться к первоисточникам, учебному пособию и восполнить пробел.

Одной из форм обучения, подготовки к практическому занятию является консультация у преподавателя. Обращаться к помощи преподавателя следует в любом случае, когда студенту не ясно изложение какого-либо вопроса в учебной литературе или он не может найти необходимую литературу.

11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется балльная накопительная система.

Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре, выполнение лабораторных работ (до 28 баллов), активность в семестре до 17 баллов) и сдача экзамена (50 баллов). По сумме баллов выставляется итоговая оценка по предмету. Структура и график контрольных мероприятий доступен в ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>).

РАЗРАБОТЧИК:

Профессор, к.т.н.



/ Ю.А. Парменов /

Рабочая программа дисциплины «Твердотельная электроника» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» по направленности (профилю) «Квантовые приборы и нанoeлектроника» разработана на кафедре ИЭМС и утверждена на заседании кафедры 26.11 2020 года, протокол № 5

Заведующий кафедрой  / Ю.А. Чаплыгин /

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой КФН

Заведующий кафедрой КФН  / А.А. Горбачевич /

Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК  / И.М. Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

Директор библиотеки  / Т.П. Филиппова /