

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Аннотация

Лекционный курс дает слушателям основные сведения об истории развития, физических основах и принципах функционирования элементной базы современных ЭВМ. В начале курса дано краткое введение в физику полупроводников. Далее рассмотрена типовая структура современного компьютера, принципы его функционирования и особенности реализации. Разобраны принципы работы основных периферийных устройств и их взаимодействие с компьютером. Основное внимание уделено тем предельным возможностям, которые могут быть реализованы на существующей элементной базе, и перспективам ее дальнейшего эволюционного и/или революционного развития. Рассматриваются перспективные технологии для создания процессоров, запоминающих устройств и систем связи.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

МФК, осенний семестр
доцент Морозов Вячеслав Борисович,
доцент Руденко Константин Валентинович

Лекция 1. Введение в курс

Компьютер и информация: некоторые определения и история развития вычислительной техники, поколения компьютеров и их элементная база. Экспоненциальное развитие и закон Мура. Роль полупроводниковых (ПП) материалов в элементной базе современных ЭВМ. Технологическая база СБИС и степень интеграции. Фотолитография. Воспроизводимость параметров и минимальный топологический размер. Основные направления развития СБИС: кремниевые МОП структуры, арсенид - галлиевые и металл - полупроводниковые структуры. Перспективы развития микроэлектроники, квантовые компьютеры.

Лекция 2. Физические основы электропроводимости металлов и полупроводников

Краткие сведения из квантовой механики. Электроны, волны де Бройля, соотношение неопределенностей, волновая функция. Спектр электронных состояний в атомах, молекулах и кристаллах. Спектр электронных состояний атома водорода и многоэлектронных атомов. Понятие о зонной структуре. Принципы разделения веществ на проводники (металлы), полупроводники и изоляторы (диэлектрики). Модель электронного газа. Энергия Ферми. Электроны и дырки. Собственная и примесная проводимость полупроводников. Полупроводники n- и p-типа. Технологии легирования полупроводников.

Лекция 3. Элементы физики полупроводников. Полупроводниковые диоды и транзисторы

Диффузия и дрейф свободных носителей заряда в металлах и полупроводниках. Закон Ома, длина свободного пробега и подвижность. Уравнение непрерывности. Электронно-дырочные переходы и их характеристики. Барьерная и диффузионная емкости. Полупроводниковые диоды. Быстродействие полупроводниковых диодов. Типы полупроводниковых диодов. Биполярные транзисторы. Особенности ключевого режима работы транзистора и его быстродействие. Полевые транзисторы. Металл-оксид-полупроводник МОП (МДП) структуры с изолированным затвором и их быстродействие.

Лекция 4. Элементная база современных ЭВМ

Аналоговое и цифровое представление информации. Физическое представление информации в компьютере. Двоичный код. «Высокое» и «низкое» состояния логических схем. Позитивная и негативная логики. Ключевой режим работы коммутирующего элемента. Реализация элементарных логических функций. Основные характеристики логических элементов. Семейства логических схем, Потребляемая мощность, время задержки распространения, энергия переключения, напряжение питания, коэффициент разветвления по выходу. Понятие о помехоустойчивости логического элемента.

Лекция 5. Системный блок ЭВМ

Архитектура фон Неймана и обобщенная структура системного блока: микропроцессор (МП), память, шина. Основные характеристики МП: технология изготовления. Цикл МП и его фазы. Взаимодействие МП и ОЗУ. Режимы работы процессора: прерывание, прямой доступ к памяти, ожидание. Внутренняя структура процессора (FSB, QPI, HyperTransport, северный и южный мосты, хабы).

Лекция 6. Полупроводниковые запоминающие устройства

Конденсатор и триггер - простейшие ячейки памяти. Энергозависимая и энергонезависимая память. Статическое и динамическое оперативное запоминающее устройство (СОЗУ и ДОЗУ). Характеристики и принципы работы, регенерации ОЗУ. Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ). Элементы на основе структур с плавающим затвором. Стирание информации УФ излучением и электрическим полем. Сравнительные характеристики и перспективы: Flash-память, RRAM, MRAM.

Лекция 7. Интерфейсы ввода-вывода

Шины и их основные характеристики (ISA, PCI, PCI-E). Мультиплексирование. Мультипроцессорные и многоядерные конфигурации. Специализированные МП. Функции интерфейса ввода-вывода. Информационная, электрическая и конструктивная совместимость. Устройство типичного интерфейса. Функциональная и управляющая части интерфейса. Последовательный и параллельные интерфейсы. Дуплексная и полудуплексная, синхронная и асинхронная связь. Основные характеристики некоторых универсальных интерфейсов: RS232, CENTRONICS, USB, FireWire, Thunderbolt. Архитектура, принцип работы USB.

Лекция 8. Внешняя память в ЭВМ

Магнетизм. Магнитные материалы: диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики. Кривая намагниченности ферромагнетиков: мягкие и жесткие ферромагнетики. Температура Кюри. Доменная структура. Принципы записи и считывания информации на магнитных носителях. Типы магнитных носителей и магнитных головок. Предельная плотность записи и скорость доступа к записанной информации. Продольная и поперечная запись информации в современных HDD.

Лекция 9. Внешняя память в ЭВМ

Использование оптических явлений для повышения плотности записи информации на магнитных носителях. Магнитооптика. «Чисто» оптическая память - компакт диск (CD). Физические процессы и предельная плотность записи информации в оптике. Записываемые (R) и перезаписываемые (RW) CD и DVD диски. Blu-ray и HD-DVD технологии. Трехмерная (3D) оптическая память и голография: фоторефрактивные и фотохромные материалы, голографический диск (HVD). Молекулярная память.

Лекция 10. Связь ЭВМ с внешней средой: ввод и вывод информации

Ввод и вывод цифровой и аналоговой информации. Цифро-аналоговое преобразование (ЦАП). Погрешности ЦАП. Аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Ввод оптического изображения в ЭВМ, ПЗС и CMOS матрицы. Принципы отображения информации на твердом носителе - принтеры. Цветная печать.

Лекция 11. Связь ЭВМ с внешней средой: вывод визуальной информации

Принципы отображения визуальной информации. Физические процессы в ЭЛТ. Отображение информации о цвете. Плоские мониторы - жидкокристаллические (ЖК) дисплеи (LCD), плазменные (газоразрядные) мониторы (PDP), дисплеи с автоэлектронной эмиссией (FED) и углеродные наноструктуры, дисплеи на органических светодиодах (OLED) и электронная бумага. 3D дисплеи (стереоскопические, автостереоскопические, голографические).

Лекция 12. Связь ЭВМ с внешней средой: линии связи между ЭВМ

Методы кодирования информации: амплитудная, фазовая, частотная и другие типы модуляции. Телеграфное уравнение. Волновое сопротивление. Оптические волокна и волоконно-оптические кабели. Распространение света по оптическим волокнам (моды,

дисперсия мод, критическая длина волны). Оптические передатчики и приемники: свето- и фотодиоды, полупроводниковые лазеры. Предельная скорость передачи информации. Оптические солитоны.

Лекция 13. Перспективы развития ЭВМ и квантовые компьютеры

Проблемы развития ЭВМ, нанотехнологии и новые материалы: «напряженный» кремний, супер-диэлектрики, GaAs, InP, углеродные нанотрубки и наноструктуры, молекулярные кристаллы. Реализация устойчивых одно- и многоэлектронных состояний в различных системах. Когерентность состояний. Предельные размеры, быстродействие и энергозатраты. Вычисления в классической и квантовой физике. Биты и кубиты. Области применения. Как построить квантовый компьютер: ионные ловушки, ЯМР, поверхностные наноструктуры. Разрушение когерентности как источник ошибок при квантовых вычислениях и их коррекция. Перспективы реализации квантовых компьютеров.

Рекомендуемая литература

- Добро пожаловать в Википедию (<http://ru.wikipedia.org>)
- Мобильная энциклопедия (<http://wapedia.mobi/ru/>)
- Добро пожаловать в ITpedia (<http://www.tadviser.ru/index.php/Itpedia>)
- Компьютер
(<http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80>)
- История создания вычислительных машин
(<http://edu.mccme.ru/School/INet/sch1685/history.htm>)
- История процессоров (<http://cpugarden.com/history/>)
- Тайны «Закона Мура» (<http://www.cnews.ru/reviews/index.shtml?2003/07/14/146261>)
- Сорокалетие закона Мура (<http://www.ferra.ru/online/market/25856/>)
- Фотолитография (<http://www.compress.ru/article.aspx?id=20185&iid=924>)
- EUV литография (<http://www.microsystems.ru/files/publ/839.htm>)
- И.М. Викулин, В.И. Стафеев, "Физика полупроводниковых приборов", М.: Радио и связь, 1990.
- Ю.В. Ревич. Занимательная микроэлектроника. СПб.: БХВ-Петербург, 2007.
- А.А. Щука. Электроника. Учебное пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2008.
- Л.В. Тарасов. Введение в квантовую оптику: Учебное пособие. М.: Изд-во ЛКИ, 2008.
- Э. Розеншер, Б. Винтер. Оптоэлектроника (серия «Мир электроники»). М.: Техносфера, 2004.
- Ч. Пул, Ф. Оуэнс. Нанотехнологии (серия «Мир материалов и технологий»). М.: Техносфера, 2005.
- Р.Г. Джексон. Новейшие датчики (серия «Мир электроники»). М.: Техносфера, 2007.
- У. Томаси. Электронные системы связи. М.: Техносфера, 2007.
- Учебное пособие «Изучаем компьютер и программы» (http://web-local.rudn.ru/web-local/uem/autor/06_05/16.pdf)
- В.В. Гуров, В.О. Чуканов «Архитектура и организация ЭВМ»
(<http://www.intuit.ru/department/hardware/archhard2/1/>)
- FAQ по процессорам семейства x86 (<http://www.ixbt.com/cpu/faq/cpufaq.shtml>)
- IBM раскрыла технологию охлаждения чипов
(http://rnd.cnews.ru/tech/news/top/index_science.shtml?2007/03/23/241704)
- Intel рассказал о процессоре будущего
(<http://cnews.ru/news/top/index.shtml?2008/08/04/310463>)

- В Японии создан самый быстрый процессор (<http://cnews.ru/news/top/index.shtml?2009/05/15/347241>)
- На днях Intel анонсирует 22-нм техпроцесс? (<http://www.3dnews.ru/news/610545>)
- Intel представила революционную технологию изготовления микрочипов (<http://hard.compulenta.ru/608876/>)
- Серверные технологии INTEL (<http://compblog.ilc.edu.ru/uploads/files/1/c507d1dddc.pdf>)
- О.Н. Лебедев, "Микросхемы памяти и их применение", М.: Радио и связь, 1990.
- Многообразие типов видеопамяти (<http://www.ixbt.com/video/newvideomem.html>)
- Крис Касперски «Оперативная память - из глубин времен до наших дней» (<http://www.citforum.ru/book/optimize/ram.shtml#04>)
- Крис Касперски «Принципы функционирования SRAM» (<http://www.citforum.ru/book/optimize/sdram.shtml>)
- А.М. Тишин «Память современных компьютеров» (http://comp.ilc.edu.ru/assets/files/lecture10/10.20_Pamyat_sovremennih_komputerov.pdf)
- Обзор flash-памяти на технологии Intel StrataFlash (<http://www.ixbt.com/storage/flash-theory-p1.shtml>)
- IBM представила альтернативу флэш-памяти (<http://www.terralab.ru/storage/298979/>)
- SSD-накопитель BitMicro емкостью 1,6 ТБ (http://www.ladoshki.com/6744-news-%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8-SSD-%D0%BD%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BF%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C-BitMicro-%D0%B5%D0%BC%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C%D1%8E-1-6-%D0%A2%D0%91.htm#pg_content)
- Точка Кюри (<http://www.ixbt.com/storage/curiepoint.html>)
- Магнитные носители: бесконечное хранение информации (<http://www.ixbt.com/storage/storage-tech.shtml>)
- Технологии защиты от ударов и тряски в жестких дисках (<http://www.ixbt.com/storage/hdd-shockprotect.html>)
- HDD будущего: перпендикулярная запись и не только (<http://www.ferra.ru/online/storage/s26119/>)
- Перпендикулярная запись (<http://www.osp.ru/cw/2006/34/2776066/>)
- Решена главная проблема жестких дисков (<http://www.cnews.ru/news/top/index.shtml?2007/10/15/270456>)
- Samsung снизил энергопотребление жесткого диска на 40% (<http://cnews.ru/news/line/index.shtml?2009/03/10/340023>)
- Выпущен 2,5-дюймовый жесткий диск емкостью 1 ТБ (<http://cnews.ru/news/line/index.shtml?2009/07/27/355383>)
- Скорость жесткого диска выросла в 100 раз (<http://www.cnews.ru/news/top/index.shtml?2007/07/02/256999>)
- Магнито-электрическая технология хранения данных: подробности (http://rnd.cnews.ru/tech/news/top/index_science.shtml?2007/08/31/264505)
- Оптический диск (http://wapedia.mobi/ru/%D0%9E%D0%BF%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%B4%D0%B8%D1%81%D0%BA)
- Оптические накопители: DVD наступают! (<http://www.compress.ru/article.aspx?id=10164&iid=421>)
- MO - неувядающий интерес (<http://www.3dnews.ru/storage/mo>)
- DVD: диски, проигрыватели, рекордеры (<http://www.ixbt.com/storage/dvdinfo.html>)
- DVD нового поколения (http://www.cnews.ru/reviews/free/video_port/videoMarket/dvd_w.shtml)

- Magnetic Storage Taken to the Atomic Scale (<http://www.spectrum.ieee.org/sep07/5548>)
- "Трёхмерный" диск (<http://www.ixbt.com/storage/fmd-tech.html>)
- Голографические диски: будущее наступит завтра (<http://www.terralab.ru/storage/240825/>)
- Pioneer объявила о создании диска на 500 ГБ (<http://www.ladoshki.com/?news&frommail=1&id=7834>)
- Диск на 500 ГБ обещают через 2 года (<http://cnews.ru/news/top/index.shtml?2009/04/28/345687>)
- Разработан доступный диск емкостью 1,6 ТБ (<http://cnews.ru/news/top/index.shtml?2009/05/21/347923>)
- Ученые записали 1,14 ТБ на квадратный дюйм сапфира (<http://cnews.ru/news/top/index.shtml?2009/02/26/339045>)
- ДНК: еще один шаг к массовому нанопроизводству (<http://www.cnews.ru/news/line/index.shtml?2005/12/28/193895>)
- Создан одномолекулярный элемент памяти (<http://www.cnews.ru/news/top/index.shtml?2006/08/11/208295>)
- IBM приближает эру молекулярных компьютеров (http://rnd.cnews.ru/tech/news/top/index_science.shtml?2007/08/31/264562)
- Механическая память потеснит электронную (<http://www.cnews.ru/news/top/index.shtml?2005/06/27/180850>)
- IBM увеличит емкость памяти в 100 раз (<http://cnews.ru/news/line/index.shtml?2008/04/11/296721>)
- Мониторы (http://www.ixbt.com/video/monitor_guide.html)
- Жидкокристаллические дисплеи. История, принципы работы, преимущества и недостатки (<http://www.ferra.ru/online/video/4934/>)
- Перспективные технологии дисплеев (PDP-, FED- и LEP-дисплеи, альтернативные технологии, <http://www.ferra.ru/online/video/4974/>)
- Дисплеи на электронных чернилах: обзор и перспективы технологии (<http://www.ferra.ru/online/video/17807/>)
- Эра умной бумаги: технологии «э-бумажных» дисплеев (<http://www.ferra.ru/online/video/25266/>)
- Iriver Japan начнёт выпуск электронной книги с поддержкой технологии E Ink (<http://www.ladoshki.com/?news&frommail=1&id=9148>)
- Рынок дисплеев e-paper: \$9,6 млрд к 2018 г. (<http://cnews.ru/news/line/index.shtml?2009/08/27/359345>)
- У японцев нанопрорыв в «электронной бумаге» (<http://cnews.ru/news/top/index.shtml?2009/02/25/338855>)
- И все-таки он светится! (LEP дисплей, <http://www.ixbt.com/video/lep.html>)
- Технология LDT (<http://www.ixbt.com/multimedia/ldt.shtml>)
- Современные технологии дисплеев объемного изображения (www.soel.ru/cms/f/?/311565.pdf)
- Обзор существующих технологий по 3D-видению (<http://www.thg.ru/display/20040306/index.html>)
- Евгений Музыченко, FAQ по цифровому представлению звуковых сигналов (<http://www.ixbt.com/multimedia/digaudiofaq.html>)
- Цифровая обработка сигналов (обучающий комплект, <http://www.dsp.sut.ru/rus/training/book/download.html>)
- В.П. Майоров и др. "Рассуждения о телевизионных камерах" (<http://videoscan.ru/?page=692>)
- Л. Лазовский "Приборы с зарядовой связью: прецизионный взгляд на мир" (<http://www.autex.spb.ru/download/sensors/ccd.pdf>)

- Ликбез: технологии в видеокамерах (<http://www.zoom.cnews.ru/publication/item/13460/1>)
- Современные способы компьютерной печати (<http://www.ixbt.com/peripheral/laser-prn.html>)
- Как работает принтер: обзор технологий печати (<http://zoom.cnews.ru/publication/item/631>)
- В.К. Аблеков, П.И. Зубков, А.В. Фролов. Оптическая и оптоэлектронная обработка информации. М.: Машиностроение, 1976
(http://www.bookshunt.ru/b155862_opticheskaya_i_optoelektronnaya_obrabotka_informacii)
- А.Н. Берлин Оконечные устройства и линии абонентского участка информационной сети (<http://www.intuit.ru/department/network/terminals/>)
- Книжка о вкусной и здоровой сети (<http://nivki.narod.ru/netdoc.htm>)
- С.В. Кунегин, Линии связи на основе волоконно-оптических кабелей (<http://www.aboutphone.info/js/kunegin/vols/index.html>)
- Волоконно-оптические соединители (<http://www.ruscable.ru/doc/analytic/statya-030.html>)
- Лазер передал информацию с рекордной скоростью 26 терабит в секунду (<http://science.compulenta.ru/612128/>)
- IBM создала чип с частотой 500 ГГц (<http://www.cnews.ru/news/top/index.shtml?2006/06/21/204024>)
- Гибриды нано-СМОС: новая стратегия развития микроэлектроники (http://rnd.cnews.ru/tech/news/top/index_science.shtml?2007/01/17/231737)
- Рождается новое поколение аналоговой электроники (http://rnd.cnews.ru/tech/reviews/index_science.shtml?2007/03/12/239756)
- Электронные схемы будут печатать на бумаге (<http://www.ladoshki.com/?news&frommail=1&id=9194>)
- Создан суперёмкий конденсатор (http://rnd.cnews.ru/natur_science/news/top/index_science.shtml?2007/07/05/257676)
- Светодиоды вторглись в ультрафиолетовый диапазон (<http://www.cnews.ru/news/top/index.shtml?2006/05/19/201735>)
- Разработан новый прототип литиевых аккумуляторов (<http://cnews.ru/news/line/index.shtml?2009/05/19/347584>)
- Японцы увеличили емкость литиево-ионной батареи в 20 раз (<http://cnews.ru/news/line/index.shtml?2008/06/02/302861>)
- Ноутбуки будут работать от бумажных батарей (<http://www.cnews.ru/news/top/index.shtml?2007/08/14/262429>)
- Нанотрубки: игры атомами (<http://price.od.ua/articles.phtml?id=103>)
- Перспективные технологии: итоги и прогнозы (<http://www.compress.ru/article.aspx?id=17110&part=21ext1>)
- Молекулярные компьютеры, Биокомпьютеры, Оптические компьютеры, Квантовые компьютеры, Что дальше? (http://www.scorcher.ru/art/future_society/future_society2.php)
- Создан прототип логического элемента для фотонного компьютера (http://rnd.cnews.ru/tech/news/top/index_science.shtml?2008/05/13/300104)
- О.Н. Граничин, Д.С. Шалымов “Новые компьютеры. Вычислительные устройства будущего” (http://www.math.spbu.ru/user/gran/papers/2007_6_23-31.pdf)
- Механический компьютер пригодится военным (http://rnd.cnews.ru/tech/news/top/index_science.shtml?2007/08/06/261588)
- R&D.CNews: нанотехнологии-2006 (http://rnd.cnews.ru/tech/reviews/index_science.shtml?2006/12/27/230020)
- Новые экономические аспекты нанотехнологий (http://rnd.cnews.ru/reviews/index_science.shtml?2007/08/01/261068)
- И.Г. Неизвестный Квантовый компьютер и его полупроводниковая элементарная база (<http://psj.nsu.ru/lector/neizvestniy/>)

- Продемонстрирован первый коммерческий квантовый компьютер (<http://www.cnews.ru/news/line/index.shtml?2007/02/14/235753>)
- Новости Hardware (<http://www.3dnews.ru/news/>)
- Статьи, новости, справочный материал и т.д. (<http://www.ixbt.com/>)
- "Компьютерра" on line (www.computerra.ru/)
- "PC Magazine" on line (<http://www.pcmag.ru/>)
- "PC Week" on line (<http://www.pcweek.ru/>)
- "Энциклопедия персонального компьютера", "Кирилл и Мефодий" (http://mega.km.ru/pc_2001/)
- Техническая энциклопедия (<http://www.techweb.com/encyclopedia/>)
- Гипертекстовый энциклопедический словарь по информатике (<http://www.abc-it.lv/dict/informatics/IBD/main.htm>)
- Александр Ляхов, "Англо-русский словарь основных терминов и сокращений по телекоммуникациям" (<http://www.perfekt.ru/dict/tel-com.html>)

Программу составили:

доцент
доцент

В.Б. Морозов
К.В. Руденко