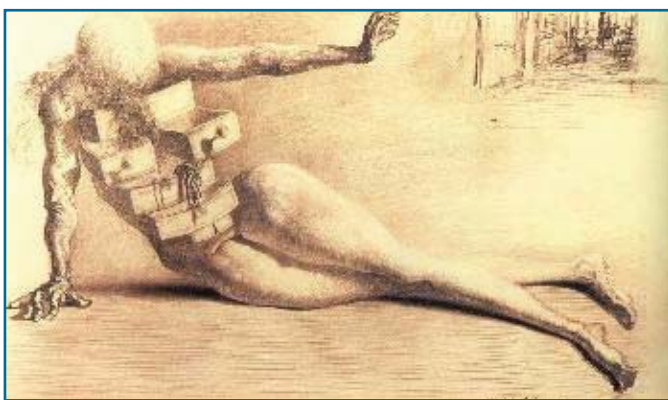


УСТРОЙСТВА ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ (*Information Storage Devices*)

«Рукописи не горят!»

М.А. Булгаков.

«Мастер и Маргарита»



Картина Сальвадора Дали «Город ящиков» — тайны памяти и подсознания

Современному человеку нравится быть мобильным и иметь при себе различные высокотехнологичные устройства, облегчающие жизнь, да и что там скрывать, делающие ее более насыщенной и интересной. И появились-то они – миниатюрные, удобные, цифровые – всего за последние 10–15 лет благодаря интенсивному развитию информационных технологий. Однако, как и следует из самого названия, технологические решения подразумевают наличие систем обработки информации, а саму ее надо где-то хранить. Проблема хранения информации встала перед человечеством еще несколько тысячелетий назад – вспомните хотя бы наскальную живопись, древние иконы или письменность.

По аналогии с обычной письменностью первые устройства хранения информации использовали бумажные или картонные носители – так называемые перфокарты и перфоленты. Запись информации в них осуществлялась с помощью перфоратора, пробивавшего дырки в определен-

ных местах, а считывалась информация специальным оптическим устройством для обработки. Однако увеличение производительности компьютеров в скором времени потребовало увеличения объемов данных, а расход бумаги одной ЭВМ повысился до полутонны в день. Все это потребовало разработки новых носителей информации, обладающих большей плотностью записи и скоростью доступа (рис. 1).

В декабре 1952 года корпорация IBM показала миру первые устройства хранения информации на магнитной ленте. Магнитные ленты, знакомые многим по аудио- и видеоманитофонным кассетам, хранят данные в виде непрерывно изменяющихся аналоговых сигналов. Это сравнительно дешевый, но довольно медленный носитель. Тем не менее в мощных компьютерах для хранения больших объемов данных часто используют высокоскоростные многодорожечные магнитные ленты, удобные для резервного копирования всей информации с дисков компьютерных систем.

С развитием вычислительной техники потребовался унифицированный цифровой формат хранения данных, в качестве которого был выбран двоичный код, а минимальная ячейка информации была названа битом. Этот формат приобрел всемирную популярность, практически полностью вытеснив аналоговую запись. Кодирование символа (букв алфавита, знаков препинания и т.д.) сегодня осуществляется 8 битами или байтом: один байт хранит в себе один из 256 возможных символов. Большинство современных цифровых носителей информации



Рис. 1. Эволюция устройств записи информации

основывается на схемах магнитной, оптической, электронной и комбинированной (магнито-оптической, магнито-резистивной и т.д.) записи информации.

Первым цифровым носителем информации стал магнитный дисковый накопитель (IBM RAMAC, 1956 г.), являвшийся компромиссным решением между магнитной лентой и граммофонной пластинкой. Даже чтение магнитных дисков во многом аналогично считыванию сигнала с грампластинки, с той лишь разницей, что в качестве считывающего устройства в магнитном накопителе используется магниторезистивный сенсор, а не игла фонографа.

Для увеличения емкости магнитного накопителя он содержит не один, а сразу несколько дисков. Как правило, пластины изготавливают из алюминия, стекла или керамики и наносят на них слои высококачественного ферромагнетика. Для считывания информации головка перемещается на некотором расстоянии от поверхности пластины (около 10 нм), которая вращается с постоянной скоростью (до 15 тыс. оборотов в минуту), преобразуя магнитное поле в электрический ток. Чем меньше это расстояние, тем больше точность считывания и тем выше может быть плотность записи информации. Магнитное покрытие диска разбито на множество мельчайших областей спонтанной намагниченности (битов), собственные магнитные моменты которых ориентируются в соответствии с направлением прикладываемого магнитного поля и «замораживаются» в таком положении после прекращения действия внешнего поля, сохраняя записанную на диск информацию. Сама среда записи уже давно является наноструктурированной – она состоит из магнитных частиц сплава CoPtCrB

размером 10–15 нм. К сожалению, разработчикам магнитных дисков пока не удалось достичь воспроизведения записи на отдельных частицах, и в современных устройствах на один бит информации отводятся весьма значительные площади: ширина магнитной «дорожки» составляет порядка 1 мкм, а длина области, соответствующей одному биту – 50–70 нм. Тем не менее достигнутая на сегодня плотность записи просто поражает воображение: 10^{10} бит содержатся всего в одном квадратном сантиметре поверхности диска! При этом стоимость 1 гигабайта на магнитном носителе составляет менее 0,5 доллара США! Сегодня уже находится в разработке новое поколение магнитных дисков – устройств температурно-контролируемой записи. В этих системах запись информации будет производиться на пространственно-упорядоченные частицы FePt размером всего 5 нм с помощью локального разогрева отдельных частиц фокусированным лазерным пучком в магнитном поле (рис. 2). Эта технология была предложена компанией Seagate и на сегодняшний день является «вершиной» нанотехнологического прогресса в области магнитных материалов.

Основная борьба за дальнейшее усовершенствование устройств магнитной записи состоит в преодолении так называемого «суперпарамагнитного предела». Казалось бы, чем меньше магнитные частицы, тем плотнее они могут быть упакованы и тем выше будет плотность записи. Однако, начиная с какого-то размера, частицы становятся настолько маленькими, что не могут поддерживать длительный эффект намагничивания ввиду возрастания тепловых колебаний магнитного момента (см. *Суперпарамагнетизм*). Но не стоит расстраиваться – магнитные систе-

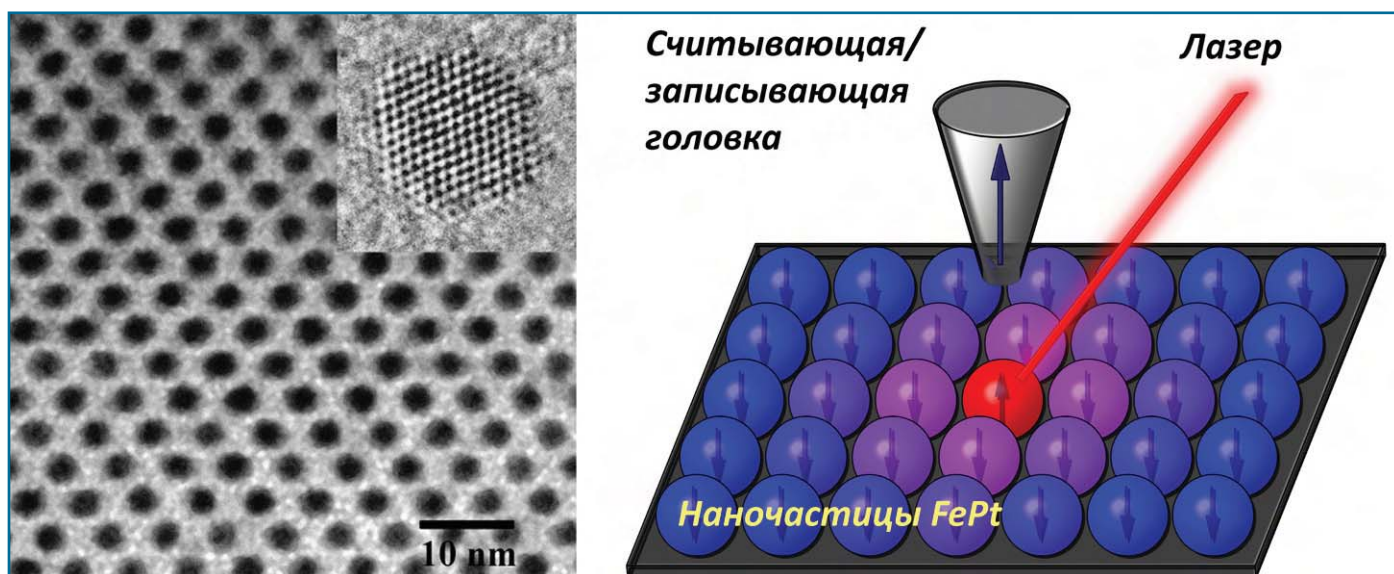


Рис. 2. Пространственно-упорядоченные массивы наночастиц FePt и принцип температурно-контролируемой записи информации

мы хранения информации еще не скоро достигнут своего предела, установленного природой и открывающего новую – голографическую – главу в истории устройств записи и хранения данных.

Основным конкурентом устройств магнитной записи на рынке являются оптические диски. В 1982 году фирмы Sony и Philips завершили работу над форматом CD-аудио (*Compact Disk*), открыв тем самым эру цифровых носителей на компакт-дисках. Трудно сейчас найти человека, у которого не было бы нескольких CD с музы-

кой или компьютерными играми. Чтение и запись информации в этом случае осуществляется лазером с длиной волны от 780 нм для CD и 650 нм для DVD до 405 нм для новых *Blu-ray* дисков. В оптической записи данные кодируются в виде последовательности отражающих и неотражающих участков, которые интерпретируются как единица и ноль соответственно (рис. 3). Максимальный объем информации для оптических дисков составляет от 720 Мбайт (CD) до 17 Гбайт (DVD) при массе всего лишь 14–33 грамм, а также 26 Гбайт для *Blue-Ray*. Основным недостатком оптической записи все еще остается низкая скорость чтения/записи информации, составляющая менее 100 Мбайт/с для *Blue-ray* дисков (по сравнению с 1,5 Гб/с в магнитных накопителях). Однако недавно были анонсированы принципы создания первых голографических HVD (*Holographic Versatile Discs*) дисков емкостью до 4 Тбайт, практически не уступающих по скорости доступа магнитным HDD.

Сравнительно недавно (в 1988 году) компания Intel разработала еще один способ хранения данных на основе микросхем Flash-памяти, напоминающая ячейка которой представляет собой транзистор с двумя изолированными затворами: управляющим и плавающим, способным удерживать электроны, то есть заряд. При программировании микросхемы между коллектором и эмиттером создается канал – поток электронов,

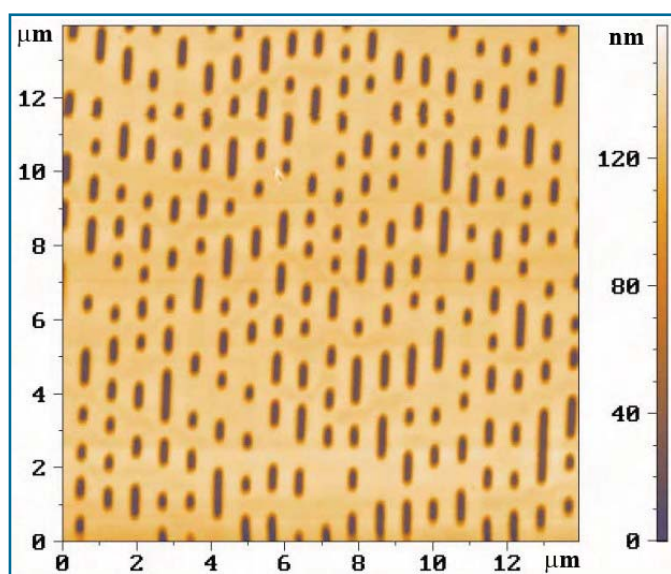


Рис. 3. АСМ изображение DVD диска (интервал между витками — 1,6 мкм, ширина углубления — 0,5 мкм, глубина — 0,125 мкм, минимальная длина — 0,83 мкм)

некоторые из которых – высокоэнергетические – преодолевают слой изолятора и попадают на плавающий затвор, где могут храниться в течение нескольких лет. Низкий заряд на плавающем затворе соответствует логической единице, а высокий – нулю. При чтении эти состояния распознаются путем измерения порогового напряжения транзистора. Когда вы стираете с флэшки какой-либо файл, на управляющий затвор подается высокое отрицательное напряжение и электроны с плавающего затвора переходят (туннелируют) на исток. Флеш-память имеет массу преимуществ, включая высокую скорость доступа и отсутствие задержек на механическое движение диска и считывающего устройства, однако стоимость 1 Гб электронного носителя более чем в 50 раз превосходит аналогичную величину для магнитной записи, и составляет более 25 долларов США.

Наконец, совсем недавно создатель сканирующего туннельного микроскопа и сотрудник исследовательского института IBM, Нобелевский лауреат Герд Биннинг предложил вернуться к механическому принципу хранения информации, разработав технологию *Millipede* (с англ. «многоножка») (рис. 4). Биннинг обратил внимание на возможность формирования наноразмерных «ямок» с помощью «наноиндентации» поверхности полимера зондом атомно-силового микроскопа. Наличие или отсутствие такой «ямки» в определенной точке поверхности можно трактовать как единичное значение бита памяти. Для ускорения работы устройства «наноиндентация» (запись) и сканирование поверхности полимера (считывание) может производиться не одним «кантилевером», а целой матрицей зондов для АСМ. В марте 2005 года на выставке CeBit в Ганновере IBM представила работающий чип с плотностью хранения информации 153 Гбайт на площади в квадратный дюйм (1 дюйм = 2,54 см). Следующие поколения устройств *Millipede*, как обещают исследователи IBM, будут иметь в 100 раз большую емкость, что позволит хранить

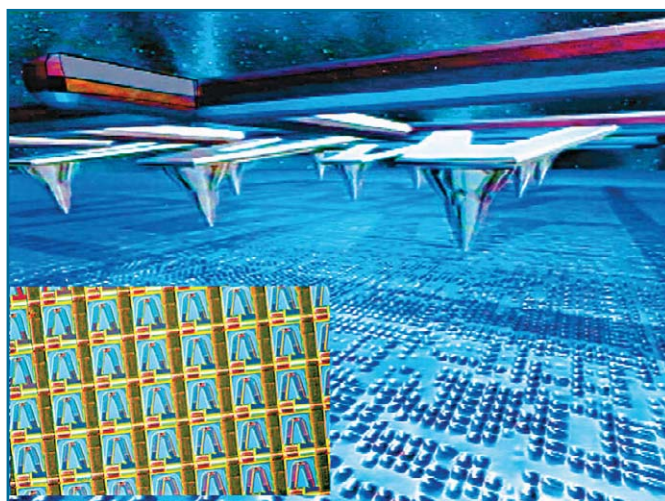


Рис. 4. Изображение устройства записи Millipede. Чтение информации производится «ощупыванием» поверхности большим набором зондов

огромное количество информации на крошечных чипах. По прогнозам IBM это новое устройство хранения данных должно вытеснить с рынка чипы *flash*-памяти. Единственным недостатком такого устройства является сложность стирания или перезаписи информации, в связи с чем технология *Millipede* пока находится в стадии разработки.

В настоящее время рассматриваются и другие технологии создания постоянных электронных запоминающих устройств. Промышленные гиганты многих стран мира пытаются использовать магнитные, туннельные, ферро- и пьезоэлектрические эффекты, а также фазовые превращения для создания электронных устройств, сохраняющих информацию при отключении устройства от источника тока.

Естественно, каждый из существующих способов хранения информации обладает своими преимуществами и недостатками. И все же технологии не стоят на месте, и каждый год в согласии с законом Мура средняя плотность записи всех типов устройств возрастает в ~1,5 раза. Какая же из технологий является оптимальной и будет доминировать на рынке через 10 лет? Время покажет...

Интернет-ресурсы:

1. Магнитные ленты http://www.imation.ru/about_imation/newsroom/2003_50yearstape
2. Flash-накопители http://q-lab.ru/ru_flash.shtml
3. Жесткие диски <http://www.citforum.ru/hardware/bookide/bookide1.shtml>