

## *Лекция 7*

### **Памет в компютърните системи**

Развитието на електронно-изчислителните машини (ЕИМ) е тясно свързано с усъвършенстване на системите и устройствата за съхранение на информацията (паметта). В много голяма степен характеристиките на паметта определят работоспособността и функционалните възможности на компютърните системи.

Във всеки компютър се вграждат няколко устройства за съхранение на информация, които имат различни характеристики и принцип на работа. Съществуват два основни типа памет: оперативна памет и външна памет (външни запомнящи устройства). Оперативната памет е необходима на компютърната система като работна памет в процеса на обработка на информацията. Затова тя трябва да е памет с бърз достъп и да има непосредствена връзка с процесора и другите управляващи устройства. Обикновено тя се изгражда от електронни елементи (тригери). В по-голямата си част тази памет е енергозависима.

Външните запомнящи устройства имат задача да съхраняват информацията за дълъг период от време. Обикновено те са с по-бавен достъп от оперативната памет. За да се осъществи достъп до информацията от външните устройства са необходими две стъпки: най-напред информацията се прехвърля в оперативната памет и след това се използва и обработва в нея.

Много често се използва аналогията с шкафове и папки за съхраняване на документи за онагледяване на функциите на паметта в компютърните системи. Ако се приеме, че шкафовете и папките служат за дълговременно съхраняване на информация (архив), те са аналогични на твърдия диск (CD-ROM, дискети) в компютърните системи. Оперативната памет може да се оприличи на бюрото (работната маса). Това позволява на човек, работещ на бюрото (действайки като процесор) да има директен достъп до който и да е документ (файл) върху бюрото. Файловете представляват програмите и документите, които могат да се заредят в паметта. За да работите с конкретен документ (файл), той трябва да бъде изваден от шкафа от определена папка и поставен върху бюрото. Ако бюрото е достатъчно голямо, може да се отворят няколко документа едновременно. По същия начин, ако компютърната система разполага с повече памет, могат да се стартират няколко програми и да се работи с няколко файла. Монтирането на по-голям харддиск към компютърната система е като поставяне на по-голям шкаф в офиса – могат да се съхраняват за постоянно повече папки с документи и книги. Добавянето на повече памет към компютърната система е като поставяне на по-голямо бюро за работа.

Аналогията и действителността на работа на компютърните системи се различават само по това, че когато даден файл се зареди в оперативната памет, той в действителност е копие на оригинала. Оригиналът продължава да се съхранява в харддиска. Това означава, че когато системата се изключва, всички файлове, намиращи се в оперативната памет трябва да бъдат записани обратно в харддиска, ако е извършена някаква промяна в тях. Промяната не се отразява автоматично в оригинала.

### **1. Оперативна памет в компютърните системи**

Основната масова памет в персоналния компютър (оперативна памет – ОП) служи за съхраняване на оперативната информация, която е на разположение на CPU. Това е ‘склада’ в който микропроцесорът може да запише за временно съхранение информация или да прочете информация направо, без участието на други устройства. В известен смисъл ОП е работната площадка на CPU.

Когато се говори за паметта на един компютър, обикновено се има предвид RAM паметта или физическата памет в системата, която е изградена главно от електронни чипове или модули. Тя се използва от микропроцесора за да съхранява в нея активните програми и

данните за тях. Този термин често се бърка със запамятаващо устройство (storage), което се използва за лентови и дискови устройства. Физически, основната памет е сбор от чипове или модули, които обикновено са инсталирани директно на дънната платка или в специални слотове върху дънната платка. Тези чипове може да изглеждат по различен начин, но за да функционират нормално, те трябва да са съвместими със системата, в която се инсталират.

След централния процесор, паметта е един от най-важните компоненти в компютърните системи. Това в голяма степен важи и за цената на тези елементи, въпреки, че в последно време цената на компютърната памет се понижи доста. В недалечното минало (до 1997 година) цената на паметта беше толкова висока, че надминаваше цената на златото за същото тегло (около \$40 за мегабайт). Не случайно, станаха известни няколко крупни обири на компютърна памет, което често се случва със златото. До края на 1996 година цената на паметта падна до \$4 на мегабайт, което е десетократно понижаване само в рамките на 1 година, а през 1997 година вече достигнаха стойност 50 цента за мегабайт. Едно голямо повишение на цената на паметта имаше през 1998 година вследствие на договореност между Intel и Rambus, а също така и поради силното земетресение в Тайван, един от най-големите производители на компютърна памет. След това цените постепенно се нормализираха и дори паднаха доста под достигнатото през 1997 година ниво.

Сега компютърната памет е с доста ниска цена, но и полезният ѝ живот стана доста по-малък. С големи темпове се разработват нови видове памет и когато се въвежда дадена компютърна система, често се оказва, че тя не поддържа новите типове памет.

Използваната в съвременните компютърни системи оперативна памет бива статична и динамична. Статичната памет (SRAM) е по-проста по отношение на организацията и е по-бърза. Тя може да работи с честотата на микропроцесора. Като електронни схеми, статичната памет е по-сложна и има повече структурни електронни елементи (транзистори). Затова тя е доста скъпа.

### **1.1 Организация на оперативната памет.**

Основната масова памет в компютърните системи обикновено е от типа DRAM (динамична RAM). Основните предимства на DRAM паметта са, че тя е много плътна, т.е. могат да се пакетират много елементи (битове) в малък чип, поради което тя е много евтина. Клетките на тази памет представляват много малки кондензатори, които задържат електрически заряд при наличие на стойност единица в даден бит.

Микросхемите за динамична памет (DRAM) са по-прости (съдържат по-малък брой структурни елементи) и са по-евтини. За структуриране на елемент, който съхранява 1 бит информация е достатъчен 1 транзистор в който единият от електродите е модифициран и служи като кондензатор. Кондензаторът е елементът който съхранява информацията. В заредено състояние той представя стойност 1, а в незаредено – стойност 0 от двоичното представяне на 1 бит информация. Кондензаторът е доста несъвършен (поради малките си размери) и изисква постоянно опресняване (регенерация), тъй като може да съхранява електрическият заряд само няколко милисекунди. Затова в състава на съвременните схеми с динамична памет влизат много допълнителни управляващи устройства и организацията на работа е по-сложна. На практика опресняването се извършва по-редове – като се адресира съответният ред се извършва автоматична регенерация на всички клетки от реда. Специална логика в КС периодически адресира всеки ред от матрицата на паметта и така поддържа записаната информация. Използва се за памет с голям обем.

DRAM паметта използва само един транзистор и един кондензатор за формиране на 1 бит памет, което прави тази памет много плътна. В момента съществуват чипове с памет 512 мегабита (512 милиона бита, 64 MB). Това означава, че чиповете съдържат 512 милиона транзистора. Ако сравним този брой с електронните елементи на процесор Pentium 4 (55 милиона транзистора) се вижда, че чипът памет съдържа много повече структурни елемента

отколкото микропроцесора. Въпреки това, цената на паметта е много по-ниска от микропроцесора. Това се дължи на факта, че в чипа памет транзисторите са подредени съгласувано в квадратна решетка от прости повтарящи се структури, докато процесорът е изграден от много сложни схеми от различни структури свързани помежду си по абсолютно несиметричен начин. В момента се работи върху чипове с обем до 256 гигабита, използващи фантастичната 0.05 микронна технология.

Опресняването се извършва когато системният контролер за паметта осъществи достъп до всички редове с данни в чиповата памет. Повечето системи притежават контролер на паметта, обикновено вграден в северния мост на чипсета, който е настроен на стандартна честота на опресняване от 15  $\mu s$  (микросекунди). За съжаление опресняването на паметта изразходва процесорно време (всяко опресняване отнема няколко такта на микропроцесора). В по-старите системи опресняването на паметта отнемаше до 10% от процесорното време, но в съвременните системи разходът за опресняване пада до част от процента

Оперативната памет е организирана в отделни банки (чип или платка с чипове). Най-малкият адресируем елемент е байт. В съвременните компютърни системи, паметта се адресира като елементите на една матрица. Адресът на всяка клетка се формира от два полуадреса – адрес на реда и адрес на колоната в съответната банка памет (чип). Тези адреси се подават последователно към чипа с паметта и се записват в съответните регистри по задните фронтове на сигналите RAS (Row Address Select) и CAS (Column Address Select). Сигналят RAS се подава преди сигнала CAS. След декодирането на двата адреса се избира клетката от паметта, от която се чете или записва.

Основен параметър на паметта, който определя нейното бързодействие е времето на достъп (Access Time). То се измерва с интервала от време, който изтича от подаването на адреса на дадена клетка в паметта до получаването на валидни данни и при съвременните динамични памети е от няколко десетки до няколко наносекунди.

За да се подобри достъпа до отделните клетки памет, битовете са подредени в решетка, използвайки схема с редове и колони. Всяко обръщение към паметта включва избор на адрес на ред и адрес на колона. Първоначалната подготовка за извършване на трансфер от или към паметта, при който се избират адресите на реда или колоната, е необходим разход на време. Времето за подготовка на трансфера към паметта се нарича *латентност*. Например при SDRAM памет (133 MHz, 7.5 ns), за осъществяване на достъп до паметта за първия трансфер са необходими около 5 такта на системата, а за следващите 3 трансфера (ако данните са съседни в матрицата) не е необходима предварителна подготовка. Следователно четири трансфера отнемат общо 8 такта, т.е. по два такта на трансфер.

Фирмите, произвеждащи динамична памет, използват специфични буквени и цифрови означения, поставяни върху лицевата част на интегралните схеми. Означенията трябва да указват количество памет и бързодействие (време за достъп). Например на чип с 256 кВ и бързодействие 150 наносекунди трябва да има маркировка в която да присъстват цифрите 256 и 15 (нулите се изпускат в цифрите за бързодействието). В по-новите чипове памет се означава количеството памет и честотата на работа на системната шина с която работи паметта.

Динамична памет започна да се използва най-напред в системите 80286. Първоначално се използват отделни модули (интегрални схеми), които се монтираха върху дънната платка или специална платка за памет. По-късно се премина към използване на специални **SIMM** (Single Inline Memory Module) и **DIMM** (Dual Inline Memory Module). Това са платки, които използват контакти от типа PAD (вилица). Контактите са изпълнени по печатен способ и за тях се използват специални слотове. Така се повишава надеждността на свързване на паметта.

Първоначално са използвани 30 – пинови SIMM модули. Те могат да прехвърлят 8 бита информация (8 битова шина за данни), което означава, че за 32-битовите

микропроцесори е необходима инсталацията на 4 SIMM модула за да се прехвърлят 32 бита памет по шината за данни. По късно бяха въведени 72 – пинови SIMM модули. Те могат да трансферират 32 бита информация и за компютри с 32 битовите шини за данни е възможно инсталирането на единични SIMM модули. За компютърни системи с 64 битова шина за данни се изисква монтирането на SIMM модулите по двойки. 30-пиновите и 72-пиновите модули съдържат 4, 8, 16 или 32 MB памет.

В компютърните системи с микропроцесори Pentium II и по-нови се използват 168 пинови DIMM модули с 32, 64, 128 или 256 MB памет на всеки модул. DIMM модулите осигуряват по-висока производителност на трансфера на данни, поради повишената разрядност на шината по която могат да се предават данните. Те позволяват трансфер на данни по 64 битова шина за данни.

Наред с използването на SIMM и DIMM модули, постоянно се усъвършенства и организацията на паметта в самите микросхеми на паметта. За намаляване на времето за достъп беше введен пакетния режим на трансфер на данните (burst mode access). Пакетният режим на предаване на информация използва факта, че най-често записваната информация е в последователни клетки в паметта. След като се установят адреса на реда и колоната за даден достъп, чрез използване на пакетния режим може да се достигне до следващите три съседни адреса без да е необходима допълнителна латентност (изчакване). Един групов достъп е ограничен максимум до четири адреса. За описване на такава схема на достъп се използва броят на тактовете за достъп. Стандартната DRAM памет с време на достъп 60ns в режим на пакетно предаване обикновено работи с тактуване 5-3-3-3. Това означава, че първият достъп отнема 5 такта (при 66 MHz на системната шина това са 5 такта по 15 ns, общо 75 ns), а следващите цикли за достъп отнемат по три такта. Без пакетната технология достъпът до паметта щеше да е 5-5-5-5.

В компютърните системи 486 и в първите модели Pentium беше използвана така наречената памет със страничен режим на достъп – **FPM DRAM** (Fast Page Mode DRAM). Времето на достъп за този тип организация на паметта е с около 50% по-малко от обикновената DRAM памет. При тях паметта се адресира както съвкупността от елементите на матрица се разглеждат като страници и колони в страницата. Страниците обикновено заемат от 512 байта до няколко килобайта. Така, когато се активира (адресира) една страница и трябва да се четат по-голямо количество данни от нея, се формира само адрес за номера на колоната в страницата, а адресът на страницата остава същият. Ако желаното местоположение в паметта е извън текущата страница, в процеса се добавят няколко състояния на изчакване докато се формира адреса на новата страница.

За ускоряване на достъпа до паметта от типа FPM беше въведена техниката *редуване* (*interleave*). При този дизайн две отделни банки памет се използват заедно, като достъпът се редува ту към едната, ту към другата банка памет, като към четни и нечетни байтове. Докато достъпът се осъществява към едната банка, другата се подготвя (презарежда - precharge) за избиране на адресите на реда и колоната. След това, когато първата банка приключи с предаване на данни, втората банка е готова и започва трансфер, а първата започва подготовка за следващия трансфер. За да се извършва това редуване е необходимо инсталирането на идентични двойки банки, т.е SIMM или DIMM модули.

Следваща стъпка в усъвършенстване на организацията на паметта е **EDO DRAM**. Тя намира широко приложение в КС с микропроцесори от типа Pentium. Тя е памет с разширен изход за данни (Extended Data Output DRAM). Тази памет също използва технологията за странично адресиране, но за разлика от FPM DRAM паметта, при нея изходът е буфериран. За сметка на допълнителни регистри за данни се увеличава обемът на извежданата от паметта информация за единица време. Това се получава поради възможността допълнителните регистри да съхраняват данните до следващо обръщение към микросхемата. Следващият цикъл на обръщение към паметта може да започне още преди да е завършило

предишното обръщение. Получава се до 10 – 15% по-бърз достъп до паметта. Така се получава ефект подобен на ефекта interleave при FPM паметта, но не са необходими двойки банки или модули.

Разновидност на EDO DRAM е Burst EDO (**BEDO DRAM**) паметта. В тези микросхеми данните се четат и записват в пакет наречен Burst цикъл. В тази памет има вграден адресен брояч, чрез който автоматично се избират следващите адреси от Burst цикъла. EDO и BEDO DRAM памет не се поддържа от 80486 КС и по-стари.

EDO паметта позволява тактуването в пакетен режим да се извършва по схемата 5-2-2-2. При тази схема за извършване на 4 трансфера са необходими 11 такта на системата. Сравнена с 14-те такта на FPM, това е 22% подобрени на бързодействието, но в действителност увеличението на бързодействието е по-малко.

Обикновено EDO паметта се комплектова като 72-пинови SIMM модули. Тази памет е най-добрият избор за компютърни системи с честота на системната шина до 66 MHz.

Микропроцесорите със 100 MHz тактова честота изпълняват една или повече операции за около 10 ns. Схемите EDO и BEDO DRAM имат време на достъп 60 ns. За да се намали престоят при обръщение към паметта, бяха разработени **CDRAM** (Cache DRAM) и **EDRAM** (Enhanced DRAM). Тези микросхеми се основават на интеграцията на неговлямо количество бърза SRAM (Static RAM) памет, използвана като кеш памет в микропроцесорите и голямо количество DRAM памет. Например, на един кристал (чип) могат да се разположат 4 MB DRAM и около 16 kB SRAM. Елементите SRAM могат да се разглеждат като буферна (кеш) памет на оперативната памет.

Нов тип микросхеми за динамична памет са **SDRAM** (Synchronous DRAM) памет. Основното отличие на тази памет е, че всички операции в микросхемата се синхронизират с тактовата честота на централния процесор – паметта и процесорът работят синхронно. Това се постига благодарение на вътрешната тристепенна конвейерна архитектура на микросхемите на паметта и подреждане (редуване) на адресите при трансфера на данни. SDRAM паметта е изградена от два независими блока (развитие на идеята Interleave при FPM DRAM, но в рамките на отделните модули памет). По този начин, когато в едната област се изпълнява операция четене/запис, в другата се изпълнява цикъл на опресняване, цикъл на деактивиране или избор на адрес за следваща операция четене/запис. Двата блока имат обща управляваща логика и тактов генератор, който се управлява и синхронизира с тактовата честота на външния сигнал – от системната шина. Синхронните динамични паметни имат регистър за задаване на режима на работа (Mode register). Той може да се програмира от потребителя и съдържа данни за CAS Latency типа на Burst цикъла и неговата дължина. Потребителят може да специфицира стойността на закъснението (CAS Latency) и дължината на пакета. Схемите имат вътрешен брояч на колоните, който се използва при адресирането на следващите колони. Технологията SDRAM позволява да се съкрати времето за трансфер на данните чрез избягване на изчакването за достъп до паметта. Съвременните микросхеми SDRAM работят на тактови честоти 66, 75, 83, 100 и 125 MHz.

SDRAM работи в пакетен режим по схема на тактуване 5-1-1-1, т.е. четири трансфера на данни заемат 8 такта. Сравнени с 11 такта на EDO паметта това е 20% подобряване на бързодействието. SDRAM се комплектоват като DIMM модули със 168 извода (168-пинови) и тяхната скорост се обозначава като скорост на системната шина (MHz), а не като време за достъп (ns).

**DDR** (Double Data Rate) или SDRAM-II е второ поколение синхронна памет. Вместо да се удвоява действителната тактов честота, DDR паметта постига два пъти по-голяма производителност чрез извършване на два трансфера за един такт: един по предния (спадящ) фронт на тактуващия сигнал и един по задния (нарастващ) фронт. По този начин се осигурява двоен трансфер на данните при запазваща се честота на тактуващия сигнал.

DDR беше използвана най-напред на пазара на графични карти (видеоконтролери), но много скоро се превърна в масово използвана памет в компютърните системи с Pentium 4 и съвместимите с него системи на AMD, Cyrix и други.

DDR SDRAM използва нов вид DIMM модули със 184 извода (184-пинови DIMM модули). Данните за използваните на пазара DDR памети са дадени в таблица 5.2.

Една от най-бързите памети в момента се явява **RDRAM** (Rambus DRAM). Това е радикално променен дизайн, който започна да се използва през 2000 година. Тази памет е разработена от американската компания Rambus и сега се произвежда и от NEC, Toshiba и Fujitsu. Микросхемите RDRAM са 9 – разредни (1 В съдържа 9 бита) и работят с тактова честота 250 MHz и по-висока и обезпечават трансфер на данните в пиков режим над 500 MB/s. Засега са все още доста скъпи.

Rambus разработиха шина на паметта ‘от чип до чип’ със специализирани устройства, комуникиращи с висока скорост. Всъщност тази памет беше разработена първоначално за игрови конзоли и за първи път беше използвана в Nintendo 64, а по-късно и в Play Station 2.

Докато конвенционалните FMP/EDO и SDRAM са ширококанални (wide channel) системи (64 бита на шината за данни), то Rambus архитектурата се отнася към тесноканалните (narrow channel) памети. Те прехвърлят данните само по 16 линии (2 байта), но с много висока скорост. Това е преход от по-паралелна към по-серийна PC архитектура, както това става и с останалите стандартни шини. В таблица 5.1 са дадени характеристики на Rambus стандарти за памет.

Rambus паметта използва специални RIMM модули. RIMM модулите са подобни по размер и физическа форма на DIMM модулите, но те не са взаимозаменяеми. RIMM модулите са налични в капацитет до 1 GB.

RIMM модулите са налични в три основни скоростни варианта, във всяка от които съществуват по три версии с различна ширина (разрядност) – таблица 5.1. 16-битовите версии обикновено се използват в двуканални конструкции (инсталират се по двойки). 32 и 64-битовите версии са проектирани да се инсталират индивидуално.

RIMM модулите са двустранни. Съществуват три различни RIMM-ове: 16 битова версия със 184 извода, 32 битова версия с 232 извода и 64 битова с 326 извода. Конекторите за тези модули са с еднакви размери, но разположението и броя на контактите е различен, което означава, че определени RIMM модули могат да се инсталират само в съответстващите им конектори. Засега най-често се използва 16 битовата версия. 32-битовата версия все още рядко се използва, а 64 битовата ще се появи по-късно.

**VRAM** (video RAM) е памет за видеоконтролера, която се отличава от микросхемите на конвенционалната оперативна памет. Характерно за този тип памет е, че микросхемите има удвоен брой портове за достъп, така в тях може едновременно да се чете информация и да се записва.

## 1.2 Контрол по четност на паметта.

Неизбежна същност на електронната памет е че съществува опасност за получаване на грешки (провали) в нея. Тези провали могат да се класифицират в два основни типа: твърди (постоянни) грешки и меки (случайни) грешки.

Твърдите грешки са с ясна природа. При тях чипът е работил нормално, но в един момент се появява дефект или повреда и той спира да работи правилно и постоянно дава грешка. Поправка на такъв чип е невъзможна (освен ако повредата не е външна в съединителните линии) и той трябва да се замени. Най-често се налага замяната на целия SIMM или DIMM модул, тъй като чиповете са монтирани посредством машинен монтаж и е трудно да се заменят. Коефициентът на такива грешки се означава като HER (Hard Errors).

Вторият тип грешки са меките грешки, които се предизвикват от случайни причини и може никога след това да не се повторят. Коефициентът на меките грешки се означава като

SER (Software Errors). Тези грешки обикновено се поправят чрез изключване и отново включване на компютърната система.

Преди около 20 години Intel направи откритие, че алфа-частици причиняват неприемливо висок коефициент на меки грешки в 16 KB DRAM паметите, произвеждани по това време. Те се изпускали от нищожни примеси на торий и уран в керамичните и пластмасови корпуси на чиповете. Тъй като алфа частиците са с малка енергия, защитата от тях не представлявала проблем. Днес тези причини са елиминирани от всички производители на памет. Космическите лъчи обаче са с много висока енергия и защитата от тях е почти невъзможна. За щастие причинени от тях грешки са много редки.

Проведените изследвания показаха, че съществуват редица други причини, които могат да предизвикат случайни грешки и не могат да бъдат елиминирани напълно. Към тях се отнасят:

- Пикове в захранването на компютърните системи. Това се получава при дефекти в електрозахранването на системата.
- Некоректен тип или скорост на паметта. Типът на паметта трябва да отговаря на изискванията на чипсета. Когато няма съответствие са възможни грешки при записа или четенето на данни.
- Смушения от радиочестоти. Предизвикват се от радиопредаватели в близост до паметта. Електромагнитните вълни могат да генерират шумови сигнали в шините за пренос на данни.
- Статични разряди. Такива разряди могат да предизвикат пикови сигнали, които да изкривят данните.
- Грешки в синхронизацията. Тези грешки се предизвикват от неправилни настройки в BIOS при памет, чиято скорост на работа е по-ниска от изискванията на системата или при овърклокване на микропроцесора.

Повечето от тези причини не предизвикват постоянни (твърди) грешки, а само моментни пропадания в работата на системата. Поставя се въпросът, как да се отнасяме към такива проблеми. Простото им игнориране не е най-добрият начин, но за съжаление в много от съвременните компютърни системи се постъпва така. Най-доброто решение е да се осигури обработка на тези грешки. За да се открие мека (случайна) грешка в паметта е въведен така нареченият контрол по четност на паметта.

Системите без контрол по четност на паметта нямат никаква защита срещу отказоустойчивост. Единствената причина да намират широко приложение е тяхната възможно най-ниска цена. При тях не се инсталира допълнителна памет за откриване на грешките и логика за организация на трансфера на данни е по-проста. Всичко това е приложимо в по-неотговорните компютри, за които сигурността на данните не от първостепенна важност. При компютърните системи за които сигурността на данните е важна е необходим контрол по четност на паметта.

Един от стандартите, който IBM установиха в индустрията за производство на електронна памет е чиповете да се съставят от банки по девет броя, като всяка банка управлява по един бит данни: 8 бита формират един байт памет и 1 бит е за контрол по четност. Това означава, че байтовете памет се съставят не от 8, а от 9 бита, като единият от битовете е за контрол на паметта. Допълнителният бит позволява схемите за управление на паметта да следят останалите 8 бита – вградена проверка за интегритет на данните в байта.

Първоначално IBM установиха стандарта за проверка на грешките да става по така наречената нечетност. Тъй като проверките по нечетност или четност са равнозначни, сега няма значение какъв тип проверка се прави, но самата проверка се нарича проверка по четност. Същността на самата проверка е доста проста и лесно изпълнима.

Когато в паметта се записват стойности в 8-те индивидуални бита на един байт, специален модул за генериране/проверка на четност, който е част от процесора или чипсета,

проверява броя на единиците в байта. Ако броят на единиците в байта е четен, модулът за генериране/проверка на четност записва в деветия бит (бита за четност) единица, така че общият брой единици в байта става нечетно число. Ако броят на единиците в байта е нечетен, в деветия бит се записва нула, така че общият брой пак остава нечетен. Така се гарантира, че при записване на информацията винаги общият брой на битовете с единици в един байт ще е нечетно число.

Когато се чете информацията от даден байт се прави проверка на броя единици в него. Ако броят на единиците е нечетно число, системата приема че информацията е коректна. Ако броят на единиците е четно число, означава, че в някой от битовете стойността е променена от някакви случайни причини. Тогава системата трябва да алармира за некоректни данни в определен участък от паметта.

От горните обяснения става ясно, че нечетността ще се промени, ако се промени стойността в един, три, пет или седем бита на един байт едновременно. Ако стойността се промени едновременно в четен брой битове на байта, нечетността няма да се промени. Следователно, грешката няма да се открие, ако се измени съдържанието едновременно на четен брой битове в байта. Изследванията са показали, че вероятността да се получи случайна грешка в съвременните памети е малка, а вероятността да се получи грешка в повече от един бит на даден байт едновременно е нищожна. Затова се смята, че проверката по четност (нечетност) е доста сигурен начин за следене на коректността на данните.

Когато в паметта възникне грешка при контрола по четност, схемите на дънната платка генерират немаскируемо прекъсване, което прекратява работата на микропроцесора и дава съобщение за възникналата грешка. Повечето системи, дават възможност за избор при възникване на такава ситуация. В зависимост от типа на BIOS съобщенията за грешки за различни. Ето как изглежда съобщение издадено от Phoenix BIOS:

```
Memory parity interrupt at xxxx:xxxx  
Type (S)hut off NMI, Type (R)eboot, other key to continue
```

Първата част на съобщението посочва, че грешката е възникнала на дънната платка (Memory parity) в адрес, който е даден във вид сегмент: отместване (xxxx:xxxx). Втората част указва възможностите за продължение на работата: при натискане на **S** се изключва контрола по четност и се продължава работата на системата; **R** – рестартиране на системата и друг клавиш – продължаване с включен контрол по четност. Ако се продължи работата на системата с работещ контрол по четност, най-вероятно това съобщение да се повтори, тъй като грешката в паметта остава непоправена. Продължаване с изключване на контрола по четност обикновено се използва за да се извърши запис на информацията преди рестартиране, за да не се загубят важни данни.

#### 1.4 ROM памет

Първоначално повечето ROM памети (чипове) се произвеждаха с предварително установени в тях двоични данни. Тези ROM памети бяха наречени маскови, защото данните се формират в маски, от които с фотолитографски процес се произвеждат кристалите на ROM чипа. Този процес е икономически изгоден за производство на памети с постоянно записани данни, но ако се наложи промяна дори на един единствен бит трябва да се изготвя нов чип.

**PROM** памет. Това е ROM памет, която се произвежда кат празна (не записани двоични данни). За да стане използвана тя трябва да се програмира с въвеждане на необходимата информация.

Въпреки че се казва, че чиповете са празни, всъщност те предварително са заредени с двоични единици. За да се запълни с валидни данни PROM чипа трябва да се програмира със специално устройство (ROM програматор). Програмирането на PROM чиповете се нарича прогаряне, защото технически то се осъществява чрез прегаряне на определени свързващи жички в схемата. Всяка единица в PROM чипа може да се разглежда като стопяема жичка в



схемата на всеки бит. Обикновено PROM схемите работят с 5V напрежение. Когато на определени битове в които трябва да се съдържат нули се подаде еднократно по-високо налягане (12V) стопяемата жичка прегаря и там се записва двоична нула. Тези чипове се наричат еднократно програмируеми, защото записаната информация не може да бъде променена.

**EPROM** (Erasable PROM). Това е разновидност на PROM. Основната разлика от PROM паметта е възможността за изтриване на съдържанието на чипа и програмирането му отново. EPROM чипа се разпознава лесно по прозорчето от чист кварцов кристал в корпуса му. Това прозорче е разположено точно над кристала на чипа и самият чип може да се види през него.

Предназначението на прозорчето е през него да се пропуска ултравиолетова светлина. Изтриването на съдържанието на чипа се извършва чрез облъчване с интензивна ултравиолетова светлина. По тази причина прозорчето е направено от кварцов кристал. Обикновеното стъкло не пропуска ултравиолетова светлина, докато кварцовото стъкло я пропуска.

Ултравиолетовата светлина изтрива чипа, като предизвиква химическа реакция, която възстановява стопяемите връзки. По този начин всяка двоична нула се превръща в двоична единица и чипът се възстановява до първоначалното си състояние. За да се разтопи и възстанови стопяемата връзка, мястото трябва да се облъчи с интензивен поток ултравиолетова светлина с дължина на вълната 2.537 ангстрьома от близко разстояние (2-3 см) с продължителност от 5 до 15 минути. Това се извършва със специално устройство.

**EEPROM / Флаш ROM памет** (Electrically erasable PROM. Този тип памет се характеризират със способността си да се изтриват и препрограмират директно на платката върху която са монтирани. Използвайки такава памет може да се изтрият и препрограмират, намиращите се на дънната платка постоянни програми (BIOS), без да се сваля чипа от дънната платка.

Флаш паметта от известно време започна широко да се използва и като външен носител за съхраняване на информация. Особено приложение тя намира в преносимите компютри и в цифровите камери и фотоапарати. Флаш паметта е тип енергонезависима памет, която се разделя на блокове, а не на байтове. При нея се използва специален процес, познат като тунелен ефект на Фаулър-Нордхейм. С този процес се премахва заряда от управляемия гейт на транзистор формиращ клетките на паметта. Обикновено флаш паметта първо трябва да се изтрие преди да се програмира отново.

Скоростта, изискванията за слаб електрически ток при програмиране, компактният размер и някои други предимства, правят от флаш паметта един много перспективен външен носител на информация. На пазара вече се появиха доста производители, които предоставят CompactFlash устройства, които емулират дискови устройства с доста голяма памет. Обикновено те са проектирани за свързване към USB портове и са много удобни за временно съхраняване и пренасяне на информация.

## **2. Външни запомнящи устройства с магнитен носител**

Основни показатели на външните запомнящи устройства са капацитета и времето за прехвърляне на определен обем информация в оперативната памет. Тези показатели са доста различни за различните видове външни устройства. В исторически план най-голям дял от устройствата за съхраняване на информацията се пада на магнитните носители. В последните години започна масовото използване и на други типове информационни носители.

### **2.1 Физически основи на магнитния запис на информация.**

Първоначално магнитни носители са се използвали за запис на звук, като аналогова информация, а по-късно с развитието на компютърните технологии започват да се използват

и за запис на цифрова информация. Цифровият магнитен запис се извършва на магниточувствителен материал. Към този тип материали се отнасят някои разновидности на желязния окис, никел, кобалт, съединения на някои редки елементи с кобалт, магнитоласти микропрахови магнитни материали и други.

Магнитното покритие е много тънко (няколко микрона). Колкото по-тънко е това покритие, толкова по-качествен е магнитния запис. Покритието се нанася върху немагнитна основа, която за магнитни ленти и флопи дискове е определен тип пластмаса, а за твърди дискове е алуминий. Магнитното покритие има структура (домейна структура), определяща се от множество малки частици, намагнитващи се по определен начин.

Магнитният домейн (dominion - владение) е микроскопическа еднородно намагнитвана област във феромагнитния материал, отделен от съседните области с тънки преходни слоеве. Под въздействие на външно магнитно поле собствените магнитни полета в домейните се ориентират по определен начин в съответствие с направлението на магнитните силови линии. След преустановяване на действието на външното магнитно поле, на повърхността на магнитния носител се образуват зони с остатъчна намагнитеност. По този начин върху диска се запазва информация за действието на магнитното поле. Изменението на тока предизвикващо външното магнитно поле от специална записваща глава води до изменение на направлението на магнитните силови линии и от там до различно направление на остатъчната намагнитеност. Измененията в направлението на остатъчната намагнитеност между два съседни домейни може да се разглежда като запис на двоична единица (1), а отсъствието на такова изменение - като двоична нула (0).

Записът на информация върху магнитна повърхност на ленти и дискове използва един и същ способ. Повърхността се разглежда като непрекъсната последователност от точкови позиции (dot positions), всяка от които се асоциира с бит информация. Доколкото позициите на тези точки са неточно зададени, за записа на информация са необходими предварително нанесени отметки, които спомагат намирането на правилното местоположение на записите. За нанасянето на такива синхронизиращи отметки, дисковете трябва предварително да се форматират (извършва се логическо разделяне на диска на писти и сектори).

Организацията на бърз достъп до информацията върху магнитните носители се явява ключова характеристика на устройствата. Магнитната лента е линеен носител (информацията е записана последователно от началото към края на лентата), затова бърз достъп до определена информация е невъзможен. Бърз достъп до различни области от повърхността на магнитните дискове се осигурява за сметка на въртенето на дисковете и преместването на четящите глави по радиуса на диска. Благодарение на голямата скорост на въртене на дисковете, достигането до определени зони от повърхността на диска се извършва бързо. Флопидисковете се въртят със скорост 300 - 600 об/мин, а твърдите дискови пакети - със скорост 3600 - 7200 об/мин.

Магнитните дискове се наричат магнитни носители с пряк достъп, а магнитните ленти - носители с последователен достъп.

### **2.3. Флопидискови запомнящи устройства**

Флопидисковите запомнящи устройства се явяват основни външни носители на информацията в първите персонални компютри. Първоначално се използват 5.25" флопи дискове (дискети), а по-късно се въвеждат и 3.5" дискови устройства. Дискетите се състоят от две части: еластичен магнитен диск и защитен 'калъф'. Магнитният диск е изработен от еластичен пластмасов материал, покрит със слой феромагнитен материал. Защитният 'калъф' има правоъгълна форма и е покрит от вътрешната си страна с антифрикционен материал (нетъкан платно). Той предпазва магнитната повърхност от механически повреди, фиксира диска в дисковото устройство и намалява биенето при въртене.

Преди запис на информация на флопидискови магнитни носители е необходимо логическо разделяне на дисковото пространство. Това се извършва посредством

форматиране, като за целта се използва специална програмна процедура. Например, в DOS операционна система се използва програма Format, която се стартира от командния интерпретатор. Количеството байтове, които могат да бъдат записани в един сектор зависи от операционната система с която се форматира диска. За DOS операционна система един сектор съдържа 512 байта. Други операционни системи установяват други размери на секторите.

#### **.2.4. Харддискви запомнящи устройства (Hard disk - твърд диск)**

Наименованието на тези устройства определя различието им от флопидисквите устройства. Магнитното покритие при твърдите дискове се нанася върху твърда (метална) подложка. Първият твърд диск е създаден през 1973 година от компанията IBM и е имал кодово означение "30/30" (двустранен диск с капацитет 30 + 30 MB). Това кодово означение съвпадало с калибъра на ловното оръжие "уинчестър", добило голяма популярност при завладяването на 'Дивия запад' и това наименование се пренесло върху твърдите дискове. Друга версия за наименованието е свързана с британския отдел на IBM, разработваща твърди дискове, която се помещавала в град Уинчестър.

Голям принос в развитието на технологията за твърди дискове имат Файнис Конар и Алан Шугарт, които през 1979 година основават компанията Seagate Technology и организирали производството на 5-инчови твърди дискове. Създаденият през този период твърд диск ST-506 (капацитет 6 MB) се смята за предтеча на съвременните твърди дискове за персонални компютри. Разработеният по-късно модел ST-412 (12 MB) бил използван в първите компютри IBM PC XT.

Магнитният носител в твърдите дискове се нанася върху няколко несменяеми диска, закрепени на обща ос. Те образуват общ пакет, като за всяка работна повърхност има отделна магнитна глава за четене и запис. Съвременните твърди дискове използват специално кобалтово покритие като магнитен носител. То образува тънък магнитен слой, върху който могат да се нанасят много фини магнитни следи. Това позволява да се получи много плътен запис на информация и следователно, голям капацитет на дисковете.

Твърдите дискове са херметически затворени. Малките разстояния между работните повърхности и магнитните глави трябва да бъде защитено от попадане на пращинки, които биха повредили тънкото магнитно покритие. Магнитната глава не трябва да докосва повърхността на диска и в същото време трябва да бъде на разстояние части от микрона (около 15 нанометра) от повърхността. Най-често използваният начин за удовлетворяване на тези изисквания е използването на въздушна възглавница. В магнитната глава се правят отвори, през които се подава въздух под налягане в направление на диска, който образува възглавница не позволяваща на главата да докосне повърхността на диска. Въздухът преди нагнетяването се филтрира с помощта на специални филтри.

Подобно на флопидисквите, твърдите дискове се разделят на писти и сектори. Поради факта, че твърдите дискове представляват пакети от по няколко диска, разположени върху обща ос, пистите намиращи се една под друга върху отделните дискове се обединяват в цилиндри. За всяка работна страна на дисковете има отделна магнитна глава. Общият капацитет на харддиска се определя като:

$$\text{Общ обем памет} = C * H * S * 512 ;$$

където  $C$  е брой цилиндри на диска;  $H$  - брой магнитни глави и  $S$  - брой сектори на писта. Обикновено един сектор съхранява 512 В памет.

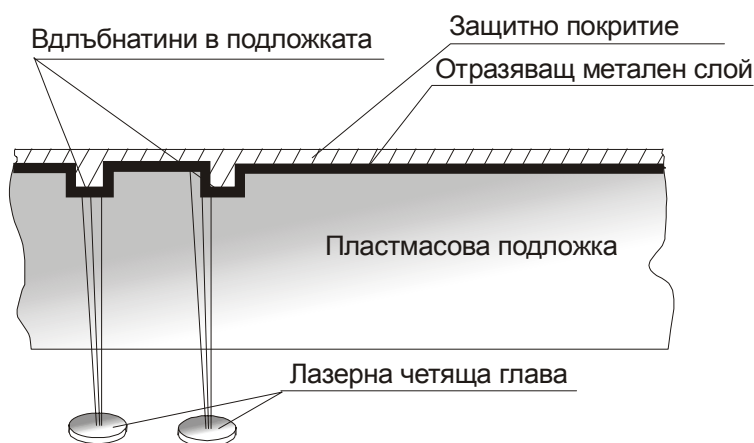
Описаното разделяне на общото дисково пространство се извършва със специална операция форматиране на ниско ниво (Low Level Formatting). Такова форматиране обикновено се извършва от фирмата производител, но може да се направи и от потребителите.

### 3 Оптични запомнящи устройства

Оптичните запомнящи устройства използват достиженията на лазерната оптика и по специално ефектите на отражение и интерференция на монохромни светлинни лъчи генерирани от лазерни устройства. Тези устройства са известни като CD-ROM (compact disk read-only memory – памет само за четене върху компактен диск). Това наименование отразява състоянието на тези технологии в началото на развитието им, когато тези устройства се използваха само за четене на информацията от компактните дискове. Тогава оптичните дискове се изготвяха, като информацията записана на тях се формираше още в процеса на производството им и след това можеше само да се възпроизвежда (както при грамофонните плочи). По-късно беше разработена технология за запис и презапис на информация върху оптическите дискове, но наименованието продължава да е както на първите носители на информацията.

От доста време CD-ROM устройствата се считат за стандартно оборудване при PC системите. Тенденцията е в недалечно бъдеще тези устройства да изместят флопидисковите устройства, като елемент за пренасяне на информация между компютърни системи несвързани в мрежа. Освен това, те вече са най сигурният начин за архивиране на информация, особено при малките компютърни системи.

Стандартният CD-ROM диск е пластмасов носител само за четене с оптично запамятаване, има диаметър 120 мм (4.72 инча), дебел е 1.2 мм (0.047 инча) и има в центъра отвор с диаметър 15 мм. На него може да се съхрани до 682 или 737 MB информация (74 – 80 минути звуков запис).



Фиг. 5.3 Конструкция на CD-ROM

Щамповане откъм горната страна, то от страната, през която се извършва четенето те изглеждат като изпъкналости. Щампованата повърхност е покрита с отразяващ метален слой (обикновено алуминий). Над металния слой има защитен полиакрилен лаков слой, върху който се добавя щампован етикет (фиг.5.3).

Прочитането на информацията от диска се извършва с лазерна четяща глава с ниска мощност. Лазерът излъчва фокусиран лъч под повърхността на диска, който преминава през пластмасовата подложка и се отразява от отразяващия метален слой. Фоточувствителен сензор приема отразения от металния слой лъч, като в зависимост от това дали лъчът е попаднал в трапчинка (вдълбнатина в подложката) или върху равна площ се получава различен отразен сигнал.

Тъй като CD устройствата първоначално са били проектирани за възпроизвеждане на аудио информация, скоростта с която се четат данните, е трябвало да е постоянна. За да се поддържа постоянна скорост на четене, е необходимо лазерната глава да се движи с постоянна скорост спрямо диска (constant linear velocity – CLV устройства). Тъй като данните се намират на различно разстояние от центъра на диска, скоростта на въртене на диска трябва

Пластмасовата дискова основа се щампова или моделира с една единствена физическа пътечка (писта) под формата на спирала, започваща от вътрешната страна на диска. Стъпката на спиралата е 1.6 микрона. За сравнение, една дългосвиреща грамофонна плоча има стъпка на пистата 125 микрона. Ако се погледне под микроскоп пътечката върху диска ще се видят малки изпъкналости (трапчинки) и плоски участъци между тях. Тъй като трапчинките се получават чрез

да е различна. Когато данните са по-близо до центъра, скоростта на въртене трябва да е по-голяма, а когато са към периферията – по-малка. Скоростта на въртене на '1x' устройство варира от 540 rpm (об/мин) до 212 rpm.

### 3.1. Записваеми и презаписваеми CD устройства (CD-R и CD-RW)

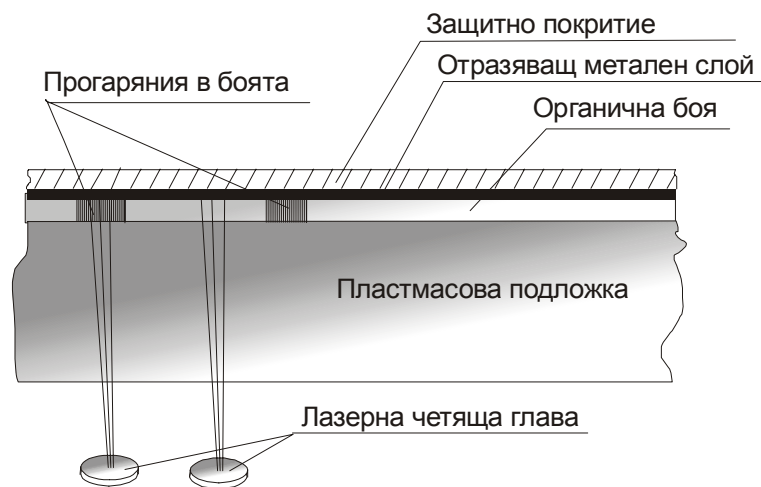
Първоначално CD устройствата бяха замислени като устройства само за четене, но по-късно се появиха записваеми и презаписваеми устройства с компакт дискове. Най-напред се появиха записваемите, а след това и презаписваемите дискове. В тези технологии се използват специални материали, които променят своите оптични характеристики при интензивно загряване с помощта на лазер.

#### CD-R оптични дискове.

Веднъж записани CD-R дисковете могат да бъдат възпроизвеждани и четени от всяко стандартно CD устройство. Те използват същия принцип, както стандартните CD-ROM устройства. Отражателен металически слой отразява лазерен лъч и фоточувствителен сензор регистрира интензивността на отразената светлина. Разликата от стандартните устройства е, че вместо да се шамповат в повърхността на подложката, изображенията на трапчинките се прогарят в специални издигнати канали. Следователно, трапчинките в действителност не са издатини, а превърнати в тъмни участъци в канала, които пропускат по-малко светлина от лазерния лъч. Тъй като цялостната отражателна способност на повърхността на диска остава както при стандартния CD-ROM дискове, то CD-R дисковете се четат от същите устройства и по-същия начин.

Част от процес на запис на CD-R дисковете започва още по време на производството им. CD-R дисковете се изготвят почти както стандартните дискове – използва се преса за шамповане на подложки от поликарбонатна пластмаса. Само че вместо да се шамповат трапчинки и равни участъци се, пресата оформя спирален канал, наричан предварителен канал (pre-groove). От гледна точка на страната за четене или запис (от страната на лазерната глава) този канал се вижда като изпъкнал спирален гребен, а не като вдлъбнатина.

Предварителният канал не е идеално прав. Той е оформен с леко лъкатушене, като амплитудата на това лъкатушене е много малка (0.03 микрона). Лъкатушенето е модулирано така, че носи допълнителна информация, която може да се чете от четящото устройство. Сигналят съдържащ се в лъкатушенето се нарича абсолютно време, защото е модулиран с времеви код и с някои други данни за синхронизация.



Фиг. 5.4 Записваем CD-R

отдолу, лазерният лъч използван за четене (или запис) на диска първо преминава през прозрачната поликарбонатна пластмаса и слоя с боята, попада върху златния слой, където се

За да бъде завършен CD-R диска, върху него се нанася равномерен слой органична боя. След това се нанася златен отразяващ слой, следван от защитно покритие (фиг.5.4). Златото се използва в CD-R дисковете, за да се постигне максимална отражателна способност, а освен това беше открито, че органичната боя има склонност да окислява алуминия. Накрая върху лаковото защитно покритие се нанася офсетов печат за идентификация и допълнителна защита. Когато дискът се гледа

отразява обратно през слоя с боята и пластмасата и накрая се прихваща от фоточувствителния сензор.

Боята и отражателният слой имат същата отражателна способност както чистия CD-ROM. Следователно, едно четящо устройство би прочело канала на незаписано CD-R като един дълъг равен участък от стандартно CD. За да се извърши запис върху CD-R диск, лазерен лъч със същата дължина на вълната (780 нанометра), каквато се използва за четене на дисковете, но с 10 пъти по-голяма мощност се използва за да загрее боята. Лазерният лъч се излъчва на импулси към повърхността на гребена, загрявайки слоя органична боя до температура 250-300°C. Тази температура прогаря органичната боя и я прави непрозрачна. При четене прогореното място пречи на светлината от четящия лазер да премине през слоя с боята към златния отражателен слой. Това има същия ефект, както унищожаването на светлината при отражение от трапчинките при обикновените CD дискове.

Устройството, четящо диска е подведено да предполага, че има трапчинка, но всъщност това е само петно в органичната боя. Използването на топлина за създаване на тъмните петна в боята е причина процесът на записване на диска да се нарича 'прогаряне' или 'изпичане', а самите записващи устройства грубо да се наричат 'печки'. Когато прогаря, боята променя състоянието на диска от отразяващо в неотразяващо състояние и тази промяна е необратима. Поради тази причина, CD-R дисковете са носители за однократен запис.

#### **CD-RW оптични дискове.**

В началото на 1996 година индустриален консорциум от няколко от водещите в производството на компактдискови устройства компании представиха новия формат CD-RW. От тогава CD-RW устройствата почти изцяло замениха CD-R устройствата. Главната причина е, че CD-RW устройствата са напълно съвместими със CD-R устройствата, като могат да четат и записват както CD-RW, така и CD-R дискове. Разликата между CD-RW и CD-R дискове е, че CD-RW могат да бъдат презаписвани до 1000 пъти. Въпреки че CD-RW дисковете са около 2 пъти по-скъпи от CD-R дисковете, те са многократно по-евтини от всички други презаписваеми носители на информация.

Записът на информация на CD-RW дискове е с по-ниска скорост (поне 4 пъти по-ниска от записа на CD-R дискове). Това е така, защото на лазера му трябва повече време за да обработи даден участък от повърхността на диска по време на запис. Освен това те имат по-малка отражателна способност, което ограничава тяхната четимост в по-стари устройства. Всички съвременни устройства обаче, отговарят на спецификацията MultiRead – това са устройствата скорости 24x и нагоре.

CD-RW устройствата и носителите използват специален физически процес на изменение на фазата на вещества за да създадат по тъмни и светли участъци върху повърхността на диска. Както и при другите типове CD дискове основата е от поликарбонтова пластмаса, с лъкатушеч предварително щампован канал. Вместо органична боя в този вид дискове се използват слоеве от специален диелектрик (изолатор), между които се намира слой който може да променя фазовото си състояние. Диелектричните слоеве са проектирани така, че да изолират поликарбоната и отразяващия слой от интензивното загряване по време на записа в записващия слой.

Вместо да се прогаря органична боя, както е при CD-R дисковете, записващият слой в CD-RW диска е изготвен от специална сплав с фазово изменение, състояща се от сребро, индий, антимон и телур. Отразяващият слой е от алуминий. Записващият слой в нормално състояние е с поликристална структура, чиято отражателна способност е около 20%. Когато върху CD-RW диска се записват данни, лазерът в устройството редува две настройки на мощността, наречени Р-запис и Р-изтриване. Настройката за по-високата мощност (Р-запис) се използва да загрее материала в записващия слой до температура 500-700°C, карайки го да се разтопи. С разтопяването на материала се променя структурата на материала и той

преминава в аморфно състояние. След втвърдяване в такова състояние, отражателната способност на материала пада до около 5%. Когато дискът се чете, областите с такава отражателна способност симулират трапчинките от стандартните компакт дискове.

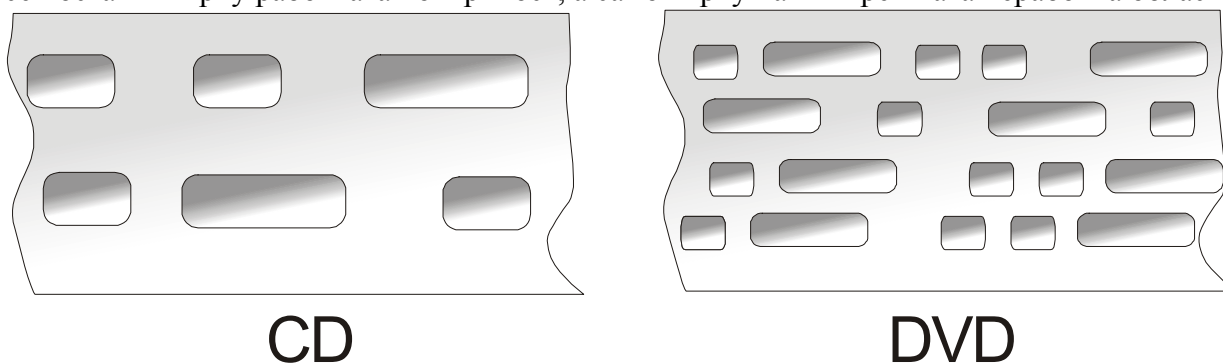
Възможността за презапис на CD-RW дисковете се състои в това, че при определени условия, материалът на записващия слой може да се върне в изходната си фаза. Това се постига чрез установяване на лазера в режим Р-изтриване. При по-ниска мощност на лазера, материалът се загрева до около 200°C, което е далеч под точката на топене, но е достатъчна за размекването му. Когато материалът е размекнат и се охлади по-бавно той преминава отново в поликристално състояние и отражателна способност около 20%.

### **DVD устройства**

DVD (Digital Versatile Disc – цифров всеотраслен диск) е CD с висок капацитет. Всяко DVD устройство е и CD-ROM устройство. Това ще рече, че те могат да четат както DVD дискове така и CD дискове. Това е така, защото DVD използва същата техника, както CD-ROM. DVD стандартът драстично увеличава капацитета на дисковете. Един CD-ROM диск побира до 737 MB, докато DVD дисковете съхраняват до 4.7 GB при един слой или до 8.5 GB – при два работни слоя. Двустранните DVD дискове могат да съхраняват двойно по-голямо количество данни.

Върху DVD дисковете могат да се записват по два слоя информация на една страна, както и да бъдат двустранни. Те са със същите размери, както обикновените CD дискове. За запис на информация се използват трапчинки и равни участъци, също както при CD. Когато се използва двуслоен запис, всеки слой на всяка страна се шампова върху отделно парче поликарбонова пластмаса, след което отделните слоеве се слепват за да образуват крайния диск с дебелина 1.2 мм.

Основната разлика от CD е по високата плътност на запис на информацията върху DVD дисковете (фиг. 5.5). За да се изпълни това се използва лазерна глава с по-малка дължина на вълната. Както и при CD, всеки слой се шампова като една физическа пътечка, навита като спирала. Когато се използва двуслоен запис, външният слой има по-тънко отразяващо покритие, за да пропуска част от светлината на лазерния лъч. По този начин се осигурява достъп за четене на вътрешния слой. Ако дискът е двустранен, етикети не могат да се поставят върху работната повърхност, а само върху най-вътрешната неработна област.



Фиг. 5.5 Разположение на трапчинки и равни области в CD и DVD

Трапчинките върху DVD дисковете са с височина 0.105 микрона и 0.4 микрона ширина. Дължината на трапчинките и равните участъци варира от 0.4 до 1.9 микрона. Поголемият капацитет на DVD устройствата се дължи на следните причини:

- 2.25 пъти по-малка ширина на трапчинките (от 0.9 на 0.4 микрона);
- 2.16 пъти намалено разстояние между обиколките на спиралната пътечка (от 1.6 на 0.74 микрона);
- Малко по-голяма площ за данни върху диска (от 8605 на 8759 мм<sup>2</sup>);

- Около 1.06 пъти по-ефективна битова модулация на канала;
- Около 1.32 пъти по-ефективен код за корекция на грешките;
- Около 1.06 пъти по-малък разход на секторите.

**Записваеми DVD стандарти.** Историята на записваемите DVD устройства датира от 1997 година. Презаписваемите DVD дискове бяха наречени DVD-RAM дискове, а дисковете за еднократен запис – DVD-R дискове.