

## 第五章 光存储技术

当今社会的一大特点就是信息资料的飞速增长。大量资料的存储、分析、检索和传播，迫切需要高密度、大容量的存储介质和管理系统。20世纪70年代，以光盘为代表的光存储技术应运而生。光存储技术凝聚了现代光电子技术的精华，有关检测、调制、跟踪、控制等各种光电方法得到的充分发挥。光盘存储。尤其是可擦写光盘的出现，无疑是给信息处理和存储带来了一次新的革命。现在一个有相当规模的存储产业已经形成，并且在不断壮大。

### 5.1 存储器概述

#### 5.1.1 存储器的发展

常用的信息存储介质有纸张、微缩胶片、磁带、磁盘（软磁盘和硬磁盘）和光盘。

纸张是具有几千年历史而至今仍被广泛使用的存储媒质，但纸张的存储密度低、占用体积大，也不易被检索和永久保存。20世纪开始使用微缩胶片技术，是光存储最早的形式，存储密度高，成本低，经历了较长的时间，成为文档资料长期保存的主要形式。但其记录的资料不能被修改和补充，也不易自动检索。很明显，纸张和微缩胶片作为记录和存储信息的媒体，不能满足现代办公自动化和高度发达的现代文明的需要。

利用磁通变化和磁化电流进行读写的磁记录技术发展起来以后，磁带和磁盘存储器得到了广泛的应用。由于它们特别适用于和计算机联用，存取信息极为方便、可靠，因而成为计算机的主要外存储器，并且形成了巨大的产业。

随着信息时代的来临，信息量与日俱增。由于信息的多媒体化，人们需要处理的不仅是数据、文字、声音、图像，而且是活动图像和高清晰的图像。这些媒质的信息量特别大，数字化后要占用巨大的存储空间，传统的磁存储技术设备难以满足这一需求。光学存储技术以其极大的存储容量和低廉的存储价格，给信息界带来的巨大希望。光盘存储技术是采用磁盘以来最重要的新型数据存储技术，它综合了高密度磁带的巨大存储容量和磁盘的能快速随即检索的优点，并且具备了一系列独特的优良功能。

光学存储的研究开发工作可追溯到很久以前。早在 1955 年就产生了有关光盘存储器的设想。由于当时技术水平的限制，特别是光源的限制，这方面的工作直到 20 世纪 60 年代激光发明之后才有了很大的发展。

20 世纪 60 年代，美国、荷兰、日本开始在实验室进行电视录像盘的制作研究；70 年代该技术趋于成熟，70 年代末 80 年代初，光盘存储和播放系统开始进入市场。如 1978 年 2 月飞利浦公司在美国的子公司 MAGNAVAX 开始出售 VH-8000 型播放器，成为最早的激光电视录像盘播放机商品；1981 年 10 月，日本先锋公司开始出售 LD-1000 型电视录像盘播放机，采用半导体激光器作为读出光源。从此，光存储产品开始商品化（Laser Disk, LD）。

在开始研制电视录像盘之后不久，一些公司已着手研究如何把光学存储技术应用于声频记录。1977 年日本三菱电机公司在光盘记录上采用了用脉冲编码调制 (PCM) 的声频信号，生产了动态范围在 90dB 以上的超高保真度声频唱片系统。1978 年飞利浦公司推出了直径为 120mm 的小型数字声频唱片，之后即成为唱片的主流；1982 年确立了直径为 120mm、厚度为 1.2mm 的小型数字唱片的标准（Compact Disk, CD）。随后，开始在市场上销售 CD 唱片和 CD 播放机。从此，CD 系列的各种新功能的光盘系统不断推出。

同时，光盘存储技术在计算机外部存储设备应用上也有很快发展，它已向磁盘存储技术提出挑战，在许多新的应用领域展示了强大的生命力。

20 世纪 90 年代，CD 系列光盘（CD-Audio、VCD、CD-ROM、CD-R、CD-RW）和磁光盘（MO）大量涌现。1996 年开始推出 DVD 系列光盘（DVD-Audio、DVD-Video、DVD-ROM、DVD-R、DVD-E）。

### 5.1.2 光盘存储的类型

光学存储技术和磁存储技术以昂，有一系列的结构，以满足用户的不同需求。根据性能和用途，光盘存储器大致可分为以下三种形式：只读写、只写一次式、可擦式。这些类型的系统结构十分相似，反映了光学记录和检测中的主要技术。它们的作用都是使激光在旋转的盘片上聚焦，通过检测从盘面反射的光的强弱，以读出记录的信息。

只读式光盘系统已实现商品化生产，LD、CD、CD-ROM、VCD、DVD-ROM 等就是最好的应用。它们是用金属母盘模压复制出来的，盘上的数据是用一系列被压制在透明塑料衬底上的凹坑来表示的。模压复制光盘的优点是生产成本低，

但是其最大的缺点是只能读不能写，使用者无法用来保存自己的内容。由于只读式光盘的存储容量大、压制成本低，因此它是发行多媒体节目的优选载体。目前，大量的文献资料、视听教材、图书等都通过它来发行。

只写一次式光盘是用会聚的激光束的热能，使材料的形状发生永久性变化而进行记录的，所以是记录后不能在原址重新写入的不可逆的记录系统。这种只能写入一次、主要用于多次读出的技术，与只读式光盘的不同之处在于，可由用户将数据直接写入光盘，这就消除了母盘的制作过程。

飞利浦公司于 1991 年制定出只写一次式的 CD-R 的光盘标准，满足用户自己制作 CD-ROM、CD-DA、VCD 光盘的要求。CD-R 是 CD Recordable 的简称，意为可记录 CD，中文简称刻录机。CD-R 的外观尺寸和结构与 CD-ROM 的驱动器基本相同，唯一的附加功能是可把激光强度调制成比通常用于读出时更大的输出功率。提高了激光功率后就可在光盘的灵敏层上“写入”可用光学方法读出的信息，从而实现数据存储。因此刻录机不仅可以刻录 CD-R 光盘，而且还可被当作 CD-ROM 的驱动器来使用。CD-R 光盘只允许写一次，因此刻好的 CD-R 光盘无法被改写，但是可以像 CD-ROM 盘片一样，在 CD-ROM 驱动器和 CD-R 刻录机上反复的读取。

由于制作材料与普通 CD-ROM 盘不同，所以 CD-R 不适合于大量制作的产品。但在少量制作时，CD-R 呈现出许多优越性，如成本低，制作一张光盘的费用基本上就是材料费，省去传统工艺中制作母盘等额外开销；可以不必一次把盘全部写满；CD-R 光盘上的数据无法被修改，具有极高的安全性。

可擦式光盘存储是可以写入、擦除、重写的可逆型记录系统。它利用激光照射引起介质的可逆性的物理变化进行记录。目前主要有磁光（MO）记录和相变（PCD）记录两种类型。

磁光型是利用激光与磁性材料共同作用的结果来记录信息的，是磁技术和光技术相结合的产物。它用来记录信息介质和软磁盘相似，但其信息记录密度和容量却比软磁盘高很多。

相变型光盘仅用光学技术来读/写，所以读/写光头可以做到比磁光盘的简单，存取时间也可以缩短。

### 5.1.3 光存储的特点

与磁存储技术相比，光盘存储技术具有以下特点：

1. 存储密度高。

尽管磁记录的面存储密度仍在继续增长，但光盘的记录密度仍比磁盘高。由于使用相干性好的激光作为光源，可把光聚焦成直径约  $1\ \mu\text{m}$  的光点进行记录，存储一位信息所需的介质面积仅约为  $1\ \mu\text{m}^2$ ，因而记录密度高达  $10^7\sim 10^8\text{bit}/\text{cm}^2$ ，是普通磁盘的 10~100 倍，特别是道密度更远非磁盘可比，光盘因而具有更大的存储容量。

2. 非接触式读/写信息。

这是光盘存储器所具有的独特性能。读/写光点是利用透镜将激光束聚焦而成，透镜、聚焦光点与光盘之间的相互关系如图 5.1 所示。光盘机中光头与光盘间距 1~2mm，光头不会磨损或划伤盘面，因此光盘可以自由更换；并且光盘外表面上的灰尘颗粒与划伤对记录信息的影响很小。高密度的磁盘机，由于磁头飞行高度（几十纳米）的限制，较难更换磁盘。

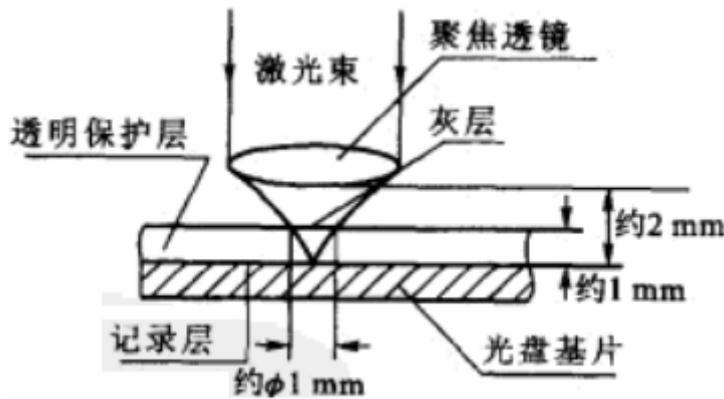


图 5.1 透镜、聚焦光点与光盘的相对位置

3. 存储寿命长。

只有光盘存储介质稳定，一般寿命在 10 年以上，而磁存储的信息一般只能保存 3~5 年。

4. 信息的信噪比高。

光盘的信噪比一般可达 50dB 以上，而且经过多次读/写不降低。因此，光盘多次读出的音质和图像的清晰度是磁带和磁盘无法比拟的。

5. 信息位价格低。

由于光盘的存储密度高，而且只读式的光盘可以大量复制，所以它的信息位价格比磁记录低几十倍。

当然，光盘存储技术目前还有它的不足之处。光头无论体积还是重量，都比磁头大，这影响了光盘的寻址速度，从而影响它的记录速度。一般地，光盘的读

写速度比磁盘低。光盘的记录密度如此之高，基本存储单元每位只占约  $1\ \mu\text{m}^2$ ，盘片上极小的缺陷或针孔也会引起错误，因而光盘的原始误码率高，必须采用强有力的误码校正措施。

### 5.1.4 光盘的性能参数

用来衡量光盘存储器的特性和性能的主要参数和指标有：

1. 光盘类型：只读式、只写一次式、可擦式。
2. 光盘直径：一定程度上他会相应的决定光盘机的大小、规模和用途。
3. 存储密度：指在存储介质的单位长度或单位面积上所能存储的二进制数的位数。光盘的线密度一般可达  $1000\text{bit}/\text{mm}$ ，到密度一般为  $600\ \text{道}/\text{mm}$ ，面密度可达  $10^7\sim 10^8\text{bit}/\text{cm}^2$ 。
4. 存储容量：指可存储在光盘中数据的总量，通常以二进制数的位数或字节数等数据单位表示。
5. 数据传输速率：单位时间内数据源传送到光盘的二进制数的位数或字节数，一般可达  $20\sim 50\text{Mb}/\text{s}$ 。采用多路传输时，可大大提高数据速率。
6. 存取时间：把信息写入光盘或从光盘读出信息所用的时间。
7. 信噪比：信号电平与噪声电平之比，以 **dB** 表示。
8. 误码率：从光盘上读出数据时，出现差错的位数与读出的总位数之比。
9. 存储每位信息的价格：即价格/位，决定着一种存储器的经济效益和性能价格比，是竞争中能否取胜的一个重要因素。

从发展的角度看，信息存储正沿着磁存储到磁光存储、全光存储的方向发展。可以预测，今后几年内，磁存储和光盘存储认为高密度信息外存储的主要手段。

## 5.2 光盘存储的工作原理

### 5.2.1 光盘驱动器的结构

光盘驱动器将所有光学、电气和机械部件组合在一起，形成一个有机的整体，以完成与写入、读出数据有关的基本功能，并实现自检操作。图 5.2 所示为光盘数据存储系统的工作原理图。从中可以看出，系统的功能部件包括以下部分：

- (1) 激光光源和与之相连的形成读、写光点的光学系统，通过它可将数据写入

光盘或从其中读出数据。

(2) 检测和校正读、写光点与数据道之间的定位误差的光电系统。通道光检测器产生聚焦伺服与跟踪伺服信号,根据这些信号在与光盘垂直的方向上移动聚焦透镜,在光盘的半径方向上移动聚焦透镜或使跟踪反射镜偏转,即可相应地实现聚焦控制和跟踪控制,把激光聚焦在光盘的记录层上,使光点中心与信道中心相吻合。

(3) 检测和读出数据的光电系统。通过数据光检测器产生数据信号过程中还产生对凹坑(或其他信息标志)的监测信号。

上述的激光光源、光学元件和光检测器组成了小巧的光学读 / 写头,简称光头。

(4) 移动光头的机构。光头安置在平台或小车上,并与直线电机连接,以便在径向读 / 写数据,校正光盘的偏心。

(5) 写 / 读数据通道中的编 / 译码电路,以及误差检验与校正(即 ECC)电路。

(6) 光盘,即数据存储媒体。

(7) 光盘旋转机构。由直流电机转动光盘,通过旋转编码器产生伺服信号、控制光盘的转速,以便进行读 / 写操作。

(8) 光盘机的电子线路,包括控制所有运动机构的伺服电路,和把数据传送到光盘以及从光盘上输出数据的通道电路。

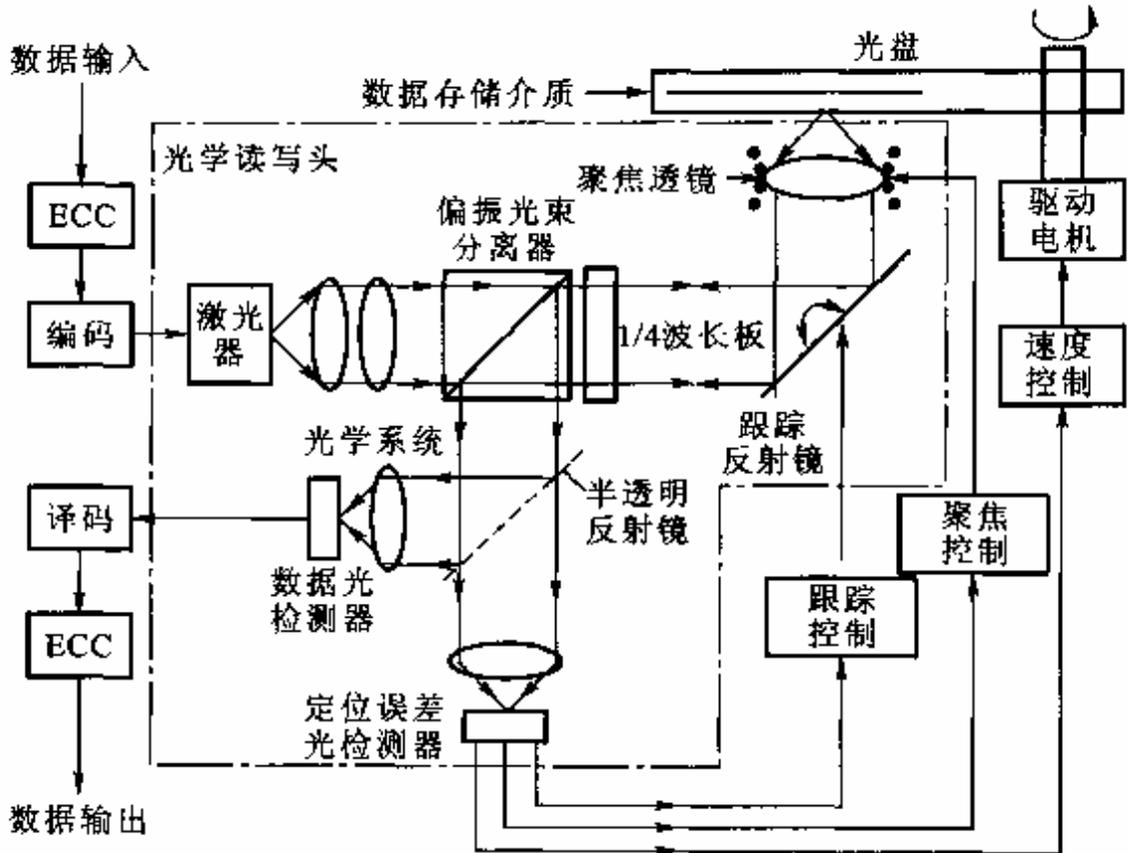


图 5.2 光盘数据存储系统工作原理图（点划线内部分为光学读/写头）

在上述光盘驱动器的结构中，光头是最关键的部件，在性能上占有重要位置。在光盘技术中，为研制光头投入的力量一般最大。光头虽小，却是集光、机、电为一体的高科技产品。

光盘光头相当于磁盘驱动器的磁头，是信息逐出和写入的通道。根据用途和功能，对光头有不同的要求。只读式光盘所用光头追求的重点是小型化和低价格。一次写入式和可擦式光盘的光头，特别是用于数据存储时，要求能高速传送读取数据，因此希望光头重量轻、厚度薄。对于可擦式光盘来说，还要求能制成各种复杂且稳定的光学系统。要满足这些要求可有不同的实现方法，如使光学零件集成化、全息元件化，以减少零件数量；采用分离型光学系统，争取实现薄膜整体化光头等。就结构来看，光头可分为如下几种：

(1) 普通光头

如图 5.2 所示，光头由半导体激光器、准直物镜、分束棱镜、聚焦物镜和误差探测光学系统组成。由于光头各部件均由较大的研磨光学元件组成，体积和重量都较大，所以严重影响寻址速度。这是最初采用的且比较成熟的一种光头。

(2) 分离式光头

如图 5.3 所示，为了减少光头可移动部分的总量、把聚焦物镜和跟踪反射镜与光头其他部分分离开来。光源、分束系统和探测光路固定不动，两者之间通过精密导轨实现光能的耦合。这样就可使可动光头的重量减轻，提高光头的飞行速度，有利于快速存 / 取的实现。

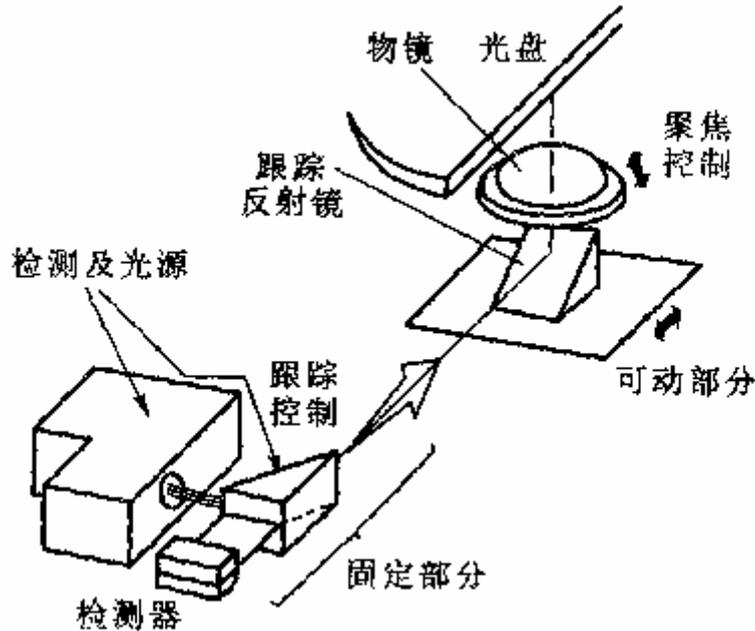


图 5.3 分离式光头

光盘存储系统的数据通路如图 5.4 所示。用户数据通过接口被送进输入缓冲器，缓冲器可提供“弹性”存储能力，以适应变化着的输入数据速率。数据从输入缓冲器以称为子块的字符组形式进入记录格式器。每个子块要通过错误检测与校正编码器，加入奇偶校验位，以便随后读出时进行错误保护。记录格式器将子块组成地址块，对其加入地址信息，以便读出时的数据检索。最后，记录格式器将地址块编组成若干字节的面向用户的数据块，这就是读出时可随机检索的最小数据单元。

格式化数据从记录格式器被送到光盘机的记录电路，该电路将数据编成记录代码，并加上特殊的同步符号，以便在读出时识别子块和地址块的起始位置。经过格式化和编码的数据从记录电路被送往写 / 读站，完成把数据记录到光盘上或自其上读出数据的功能。

读出电路检测并解调从光盘上来的反射光，并将信号送至控制部件的读出格式器。后者校正数据中的任何错误，除去记录时所加的用于识别信道的地址信息，并重新组织位序列，使之与输入到记录格式器的序列一致。最终的读出数据被送

到输出缓冲器，缓冲器按要求的数据速率将数据传送给用户。

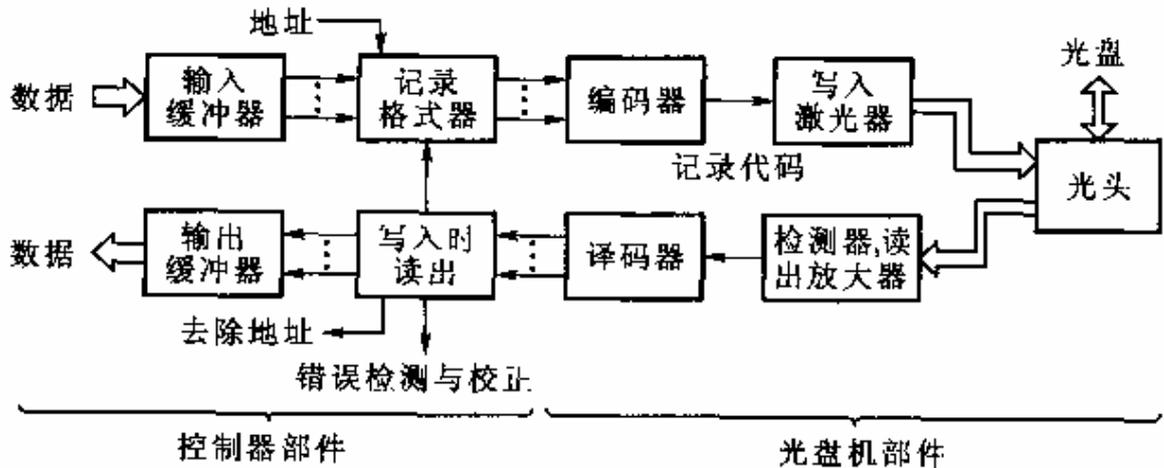


图 5.4 数字光盘的数据流

### 5.2.2 光盘的读/写原理

利用激光的单色性和相干性，把光束聚焦成直径为  $1\ \mu\text{m}$  数量级的微小光点，使能量高度集中，并在存储介质上产生物理、化学变化，以进行记录；用微小的光点在介质上扫描，根据反射光的变化读出记录的数据。这就是光盘最基本的动作。

如图 5.2 所示，在采用半导体激光器作为光源的情况下，为了记录输入的数据，信号首先要通过误差检测与校正电路和编码电路，直接调制半导体激光器的输出。经过调制的高强度激光束经由光学系统会聚、平行校正，通过跟踪反射镜被导向聚焦于透镜。后者被安装在音圈型制动器内，它在原理上和光学质量上与高倍数显微镜的物镜相似，数值孔径在 0.45~0.65 之间。透镜将调制过的待记录光束聚焦成直径约数量级为  $1\ \mu\text{m}$  的光点，且正好落在数据存储介质的平面上。当高强度写入光点通过存储介质时，有一定宽度和间隔的记录光脉冲就在介质上形成一连串的物理标志，它们是相对于周围的背景在光学上能显示出反差的微小区域，如表面上的黑色线状单元或凹坑。若在光盘旋转过程中，载有光头的小车做匀速直线运动，那么这些物理标志即形成等节距的螺旋线信道。如果在记录数据时，小车停止不动，那么只有在每一转结束时，写入光束才断开，小车才将光头定位到下一个信道位置上，然后开始记录新的数据，这时形成的信息道就是同心圆。在最简单的情况下，存储介质是金属薄膜介质，此时，上述物理标志就是金属薄膜上被熔化了了的或烧蚀掉的微米大小的孔，有孔即代表在数据道上存储了二进制代码 1，无孔则代表 0。

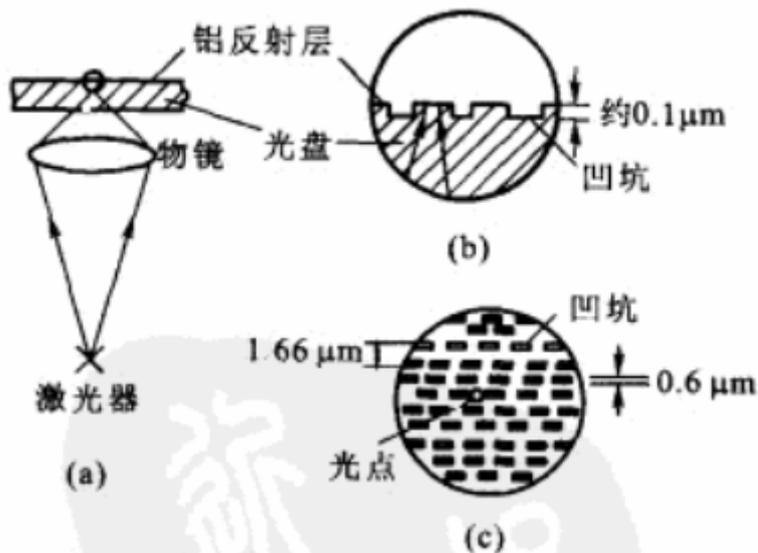


图 5.5 光盘上的凹坑与读出光点

((a) 光点形成在光盘后部的反射面上；(b) 表面上的凹坑；(c) 凹坑形成的信息道)

记录的凹坑如图 5.5 所示。好的”凹坑具有清晰的、界限分明的边缘，其长度等于光脉冲宽度乘以介质的扫描速度。但不管凹坑的长度如何，其宽度皆均匀一致。好的凹坑在读出时能产生高的信噪比。而当凹坑具有模糊的前沿或后沿，或其长、宽明显失真时，读出时就会产生噪声或误码。写入时如记录光点散焦，就会产生这样的问题。如果是数字记录，凹坑的有无相应地代表 1 和 0；如果是模拟记录，凹坑的长度和间隔则代表视频信息。凹坑的深度约为激光波长的 1/4。

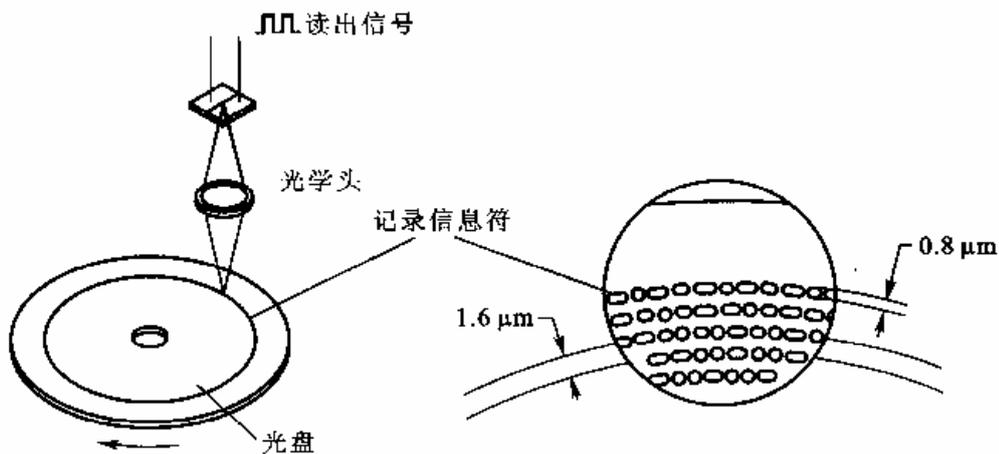


图 5.6 光盘的读取原理

如图 5.2 和图 5.6 所示，为了读出存储的数据，在半导体激光器上施加一较低的直流电压，产生相应的小功率的连续波输出。读出光束的功率要经过慎重选择，必须小于存储介质的记录阈值，以免破坏盘面上原已写入的信息。读出光束同样要经过光学系统，最后在存储介质面上聚集成微米大小的光点。根据数据道

上光学标志的有无情况，读出光束的反射光的强度受到相位的调制，被调制的反射光由聚焦透镜接收，经由跟踪反射镜导向 1/4 波长板和偏振光束分离器。由于半导体激光的输出是平面偏振光束，因而把 1/4 波长板和偏振光束分离器组合在一起，就能把反射回来的读出光束分离出来，并把它导至光检测元件。用一个半透明反射镜，可把发射的读出光束在数据光检测器和定位误差光检测器之间分离开来。在实践中，可将这两个光检测器合二为一，也就无须用半透明反射镜分配光束了。

在数据道上没有凹坑的地方，入射的读出光束被反射，其中大部分返回到物镜。如有凹坑，则从凹坑反射回来的激光与从凹坑周围反射回来的激光相比，二者光路长度差 1/2 波长，而因相互干涉抵消，使得入射光有相当一部分没有返回物镜，因此光检测器的输出可减小到没有凹坑时的 1/10，这样反射光的强度根据有无凹坑而变化。根据这一原理，就可读出光盘上记录的凹坑信号。光检测器将介质上反射率的变化转变为电信号，经过数据检测、译码和误差检验与校正电路，即可把读出的数据导至光盘存储系统的输出部位。类似于磁面存储中的磁通翻转，光信息的变化发生在光学标志的边缘部分。在那里，反射率有高变低或由低变高，数据道的光学性能产生突变。每当在存储媒体的数据道上遇到反射率急剧变化时，数据光检测器即输出电压峰值，这就是从凹坑上读出信号的特征。

光盘存储的密度主要受激光光斑的大小，光盘的尺寸和结构以及数据存储的格式决定。其中激光光斑的大小起到关键的作用。

激光聚焦光斑直径  $d$  由聚焦光学系统的数值孔径  $NA$  和激光波长  $\lambda$  决定

$$d = 0.6\lambda/NA \quad (5.1)$$

其焦深  $\Delta f$  为

$$\Delta f = \pm \frac{\lambda}{2(NA)^2} \quad (5.2)$$

在激光波长  $\lambda$  一定的情况下，为了提高存储密度， $d$  应该尽可能的小，从而要求光学系统的数值孔径  $NA$  要大一些。另一方面，由于光盘厚度的不均匀和光盘相对于物镜光轴的误差，要求光学系统的焦深  $\Delta f$  要大一些，从而应选用光学系统的数值孔径  $NA$  要小一些。这是一对矛盾，即大数值孔径可以得到小光斑，但焦深很短。因此，考虑两方面因素后，一般则的数值孔径选在 0.45~0.65 之间。CD 盘使用 780nm 的半导体红光激光器，一张光盘有 1GB 以下的容量，则

$$d = 0.6\lambda/NA = \frac{0.6 \times 0.78 \mu m}{0.45} \approx 1 \mu m$$

$$\Delta f = \pm \frac{\lambda}{2(NA)^2} = \pm \frac{0.78 \mu m}{2 \times 0.45^2} \approx 1.9 \mu m$$

DVD 盘使用 635~650nm 的半导体激光器，一张光盘可以有 4.7GB 的容量，则

$$d = 0.6\lambda/NA = \frac{0.6 \times 0.635 \mu m}{0.65} \approx 0.6 \mu m$$

$$\Delta f = \pm \frac{\lambda}{2(NA)^2} = \pm \frac{0.635 \mu m}{2 \times 0.65^2} \approx 0.8 \mu m$$

表 5.1 目前几种光盘的性能指标比较

光盘种类	激光波长(nm)	激光光斑直径 <i>d</i> (um)	存储容量 (GB)
CD	780	1	1
DVD	635~650	0.6	4.7
蓝光 DVD	450(蓝光)	0.32	27~33.5

正在研制的下一代蓝光半导体激光器，其聚焦光斑可以更小，蓝光超密光盘(UDO)存储技术商品化后可使 120mm 光盘的存储密度达到 27~33.5GB，是目前 DVD 光盘容量的 6 倍，将能在一张光盘上存储 10 部高清晰度电影的数据。

CD、DVD、蓝光超密光盘存储密度比较如图 5.7 所示。

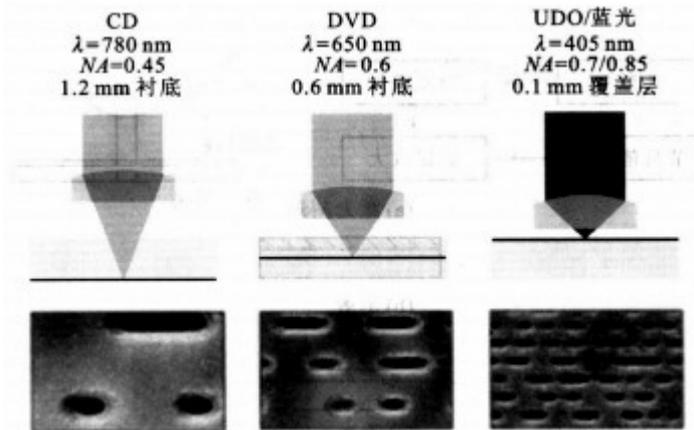


图 5.7 CD、DVD、蓝光 DVD 存储密度比较

只写一次式光盘（CD-R）的信息记录在逻辑结构上与一般只读式光盘（如 CD-ROM）基本相同，但物理构成有很大差别，如图 5.8 所示。



(a) CD-ROM 盘片

(b) CD-R 盘片

图 5.8 CD-ROM 和 CD-R 光盘的物理结构

传统工艺生产的 CD-ROM 一般用铝作为反射层，而 CD-R 光盘采用金作反射层。CD-R 在金反射层上增加了一层有机染料作为记录层。当写入的激光照射到记录层上时，有一部分染料受热溶解掉，形成代表信息的凹坑。这些凹坑与 CD-ROM 上的信心凹坑类似，因而写好的 CR-R 也可像 CD-ROM 一样，在普通的光盘驱动器上读出。

一张空白的 CR-R 盘片上虽然读不出任何信息，但并代表其上什么信息都没有。实际上，制成原盘时，要在盘上预先做出导向槽，它是一种很小、很浅的凹槽，在光盘上从里向外以螺旋状展开，导向槽和周围的背景相比，可使光路长度变化，因而使反射的激光相互干涉，以此来进行正确跟踪。此外，在制成原盘时，还以凹坑（深度为  $1/4$  波长）的形式做出道地址等，以便于伺服定位、写入和读出信息。

可擦式光盘的导向槽和道地址等信息，也采用和只写一次式相同的制作方法。但由于记录信息的介质不同，因而记录和读出信息的方式也不一样。

### 5.2.3 光盘的格式

光盘存储数据的格式与磁盘相似。沿光盘的半径方向分为若干条信息道，每条信息道沿周围方向分为若干个扇区，每个扇区又分为标题区和数据区，其中富有误差检测和校正码，用以检测和校正突发错误。一条信息道划分为多少个扇区，一个扇区内有几个数据区，或数据区内有多少字节，均随光盘系统而异。光盘上的信道、扇区等不是像磁盘那样通过格式化过程形成的，而是在盘片生产过程中刻制或压制在盘片上的。

在光盘上存储信息，又角速度恒定和线速度恒定两种方式，两者都是从最内侧信道开始记录的。

在线速度恒定方式中，由于整个盘面上的面密度恒定，所以存储容量得到了最佳利用。这意味着外侧半径上的信道比内侧信道能容纳更大的信息量。在从内侧到外侧半斤扫描信息的过程中，光盘的旋转频率减小，以便相对于读出光点保持恒定的信道速率。

在角速度恒定方式中，光盘的旋转频率保持恒定而与半径无关，每条信道所存储的信息量相同。角速度恒定方式控制简单，便于随即存取数据。

此外还有一种改进型恒线速度方式。这种方式沿光盘半径向每隔一定数量信

道就改变一次光盘的转速，使每条信道包括整个扇区，这样可以保持线速度的基本恒定，既增加了容量，又可以有角速度恒定随即读写的扇区布局。这种光盘的扇区布局如图 5.9 所示。光盘记录区域在径向分成从  $A_1$  到  $A_j$  若千个小区，每个小区含有  $m$  条信道。与这些小区相对应，角速度断续的从  $\omega_1$  变化到  $\omega_j$ ，对于每一个角速度，其平均线速度值是相等的。在同一个小区 ( $A_i$ ) 内，每一个信息圈包含相同的整数，即  $n-i+1$  个扇区，每条信道的第一个扇区都从旋转同步标志所确定的同一个切向未知开始。

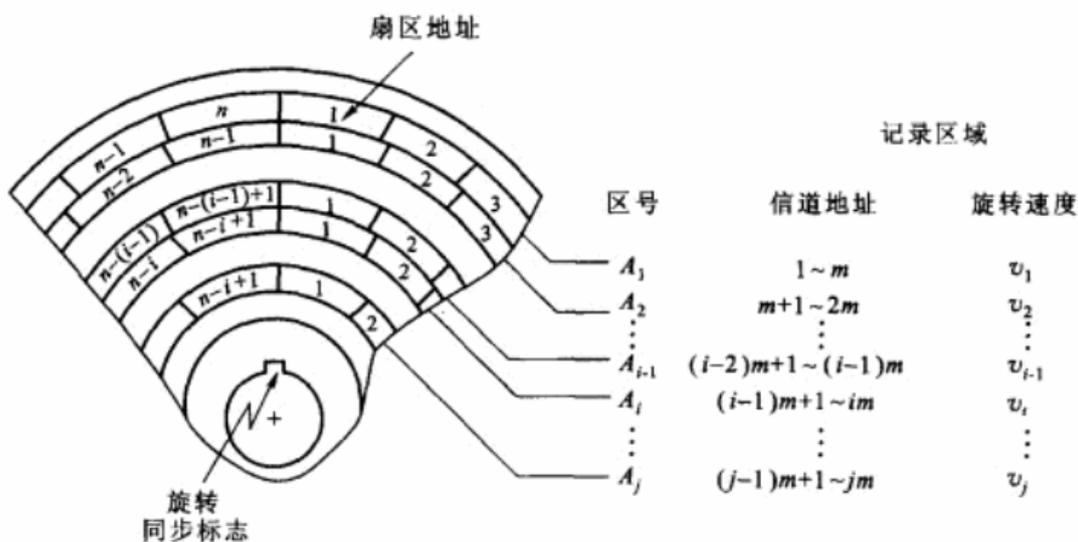


图 5.9 按改进型恒定线速度旋转的光盘扇区布局图

### 5.2.4 光盘的制作

只读光盘存储是目前应用广泛的信息存储技术。只读光盘的基本制作过程如下。主盘刻录如图 5.10 所示。刻版[图(b)]采用的激光器是氟离子气体激光。351nm 的波长，对涂覆了光刻胶的衬盘进行数据曝光处理[图(c)]。衬盘以匀速旋转，聚焦激光头沿径向匀速平移，在衬盘上刻出螺旋的信息道。曝光的基版经过显影处理[图(d)]，将受曝光的点除去，而显影出信息凹坑。采用溅射的方法，将显影了的玻璃基版表面金属化[图(e)]，以增加其硬度，且形成 150nm 的导电电极膜层，材料采用镍钒合金。金属化后的玻璃基版需经电镀成形[图(f)]。利用镀镍的原理将原 150nm 的导电层增厚至 300  $\mu m$ 。最后经过脱模处理[图(g)]，得到主盘的父版。

复制的过程大致为：一块玻璃基本可以复制 1 张父版，1 张父版可以复制 3 张母版，1 张母版又可以复制 3 张子版，每一个子版可以压制 3 万片光盘。以此类推，1 次制版可以得到 1 张父版和 9 张子版，总共可以用来压制约 30 万光盘。

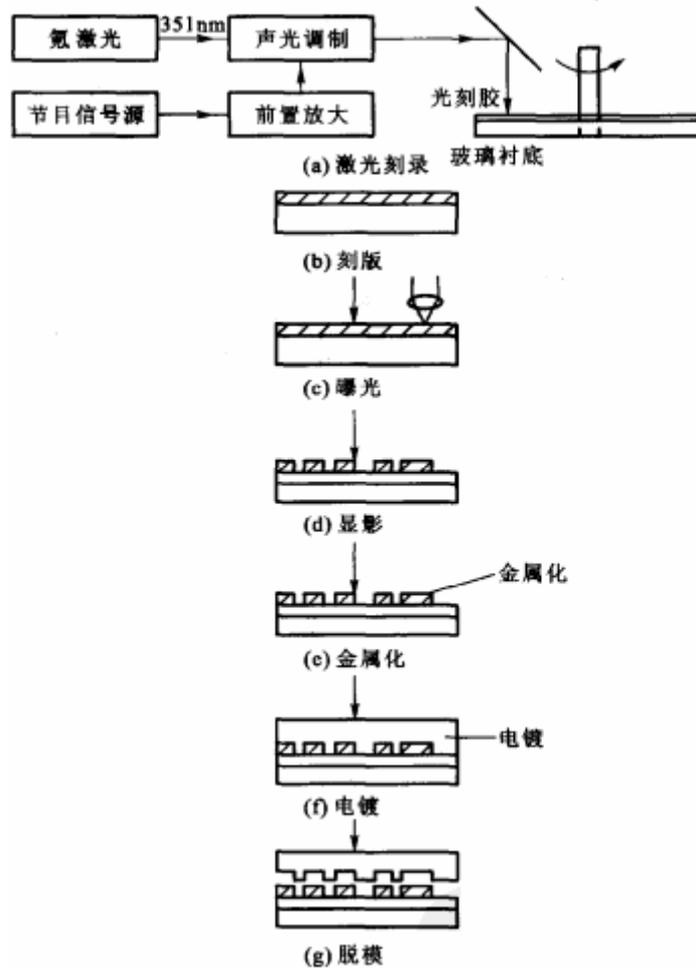


图 5.10 激光刻录示意图

### 5.3 CD、VCD、DVD、可擦写光盘

随着现代科技的发展，人们对音频和视频信号的记录存储、回放、传输及加工处理技术由原来的模拟技术发展为数字技术。20 世纪 80 年代以来出现 CD、VCD、DVD 等光盘媒体就是采用数字技术进行记录存储信息的音像载体，它们给音频、视频技术的发展带来了生机，是光盘系列的典型代表。可擦写光盘是新一代的存储技术，也是未来的发展趋势。

#### 5.3.1 CD

CD 称为 CD 唱片，也称为激光唱片或镭射唱碟，英文全称是 Compact Disc-Digital Audio，即小型数字化音频唱片 CD-DA，它生产与 20 世纪 80 年代初，用作记录以流水形式顺序播放的音乐数据。CD 唱片直径 120mm，厚度为 1.2mm，采用单面记录方式，可记录约 75 分钟的音乐。

CD 光盘的结构简单,它是由聚碳酸酯(PC)沉底、铝反射层和紫外固化胶三层组成。PC 沉底既是盘片的支撑体又是信息的记录层,PC 沉底上的信息凹坑是在注塑过程中从印模复制过来的。铝反射层的作用是把照射进光盘的激光束反射回光盘驱动器,以便读取光盘上记录的信息。紫外线固化胶保护层保护铝反射层不被氧化并可在其上印刷光盘的名称、内容及商标等信息。

### 5.3.2 VCD

VCD (Video Compact Disc) 盘上刻有视频和音频两种信号的信息。视频和音频信号录制到光盘之前,先要经 A/D 转换器将模拟信号的视频、音频信号转换为二进制的数字信号。因数字信号的数据量大,要借助于数据压缩技术。在基本不影响视频、音频信号质量的前提下,将数据压缩,再用压缩的信号控制刻录光盘的激光束,在光盘上形成很小的纹坑。播放光盘时,用激光头向光盘发射激光束,根据激光束在光盘上反射的不同,得到不同的信息,再经放大、滤波、格式变换、解压和 D/A 转换,恢复为原始的视频、音频信号。VCD 是采用 MPEG-1 标准的数据压缩技术,可以在一张 VCD 盘上记录 74 分钟的活动图像及其伴音信号。图像质量比录像机 VHS 好,比 LD 稍差一点,音响效果与 CD 相当。

MPEG-1 标准制定于 1991 年,它是一个有效的图像、声音数据压缩标准。MPEG-1 标准包括视频、音频、视频和音频同步三个部分的内容。

MPEG-1 标准压缩图像数据的方法为:在单位时间内首先保存第一帧图像的信息,然后在对单帧图像数据进行压缩的基础上,只保存其余帧图像与第一帧图像不同的部分,达到对图像数据压缩的目的。这包括空间上压缩和时间上压缩两个方面:空间上压缩即在视频图像的同帧内,对许多完全相同的部分或几乎相同的部分,只记录一次,这样就节省了很多存储空间;时间上压缩即对视频图像的前后两帧画面进行比较,如果两者完全一样或差别不大,则只记录一帧画面,好的算法可在 2~3 帧画面内作一次比较计算,这种比较运算作的越多,对数据的压缩效率越高。因其运算量大,对硬件设备的要求较高。差的算法可在 10 帧以上图像间做比较,虽然运算量小了,但压缩效率低。

VCD 盘片是直径为 120mm,厚为 1.2mm 的单面盘,到间距为  $1.6\mu\text{m}$ ,所用激光波长为 780nm,存储容量为 650MB。

VCD 播放系统主要由三部分组成:CD 驱动器,视频、音频信号处理电路和系统控制电路。CD 驱动器读取 VCD 盘上的图像和音频信号数据;视频、音频信号处理电路将 CD 驱动器读取的视频、音频信号数据解压,还原成视频、音频

信号；系统控制电路控制播放过程。

CD 驱动器首先从 VCD 光盘上读取被压缩的图像数据和声音数据及控制信息，然后经过视频、音频信号处理电路将读取的数据分解，还原成图像数据和声音数据两部分，各自经 D/A 转换，变换为模拟的图像信号和声音信号，即可播放。VCD 播放器除能播放 VCD 盘之外，还可播放 CD 等。VCD 播放机的生产很简单，只需在 CD 机的基础上加上 VCD 视频/音频解码电路即可。VCD 盘的制造工艺与普通 CD 盘片相同，因此生产成本较低。

### 5.3.3 DVD

从 CD 到 DVD 是光盘存储技术的一次重大飞跃。国内外许多资料认为 DVD 是 Versatile Disc（数字多用途光盘）所写更为合理，因 DVD 不只用于存储视频信息，还具有更广泛的用途。

DVD 的开发自 1994 年春开始便迅速在世界范围内铺开。最初，在 DVD 的格式方面，世界存在两大阵营：一方是索尼和飞利浦公司率先推出的多媒体 CD 规格（MMCD）；另一方面是以东芝和松下为代表，同时联合先锋、日立等 7 家公司推出的 SD（Super Disc）规格。为了避免两败俱伤，两大阵营经谈判，于 1995 年 9 月 15 日达成协议：产生了统一的 DVD 标准，基本内容如下：

1. 光盘尺寸：直径为 120mm，单面盘厚度 0.6mm，双面盘厚度 1.2mm；
2. 光盘规格：单层单面容量为 4.7GB，单层双面容量为 8.5GB；双层单面容量为 9.4GB，双层双面容量为 17GB；
3. 信号调制方式：EFM Plus（ $\approx 8/16$  方式）；
4. 纠错方式：RS-PC（里德-所罗门乘积纠错码）；
5. 数据的压缩和解压缩采用 MPEG-2 格式标准，分辨率符合 CCIR 601 号建议，最高可达  $720 \times 480$ （NTSC 制）或  $720 \times 576$ （PAL 制）；
6. 向下兼容 CD-DA、CD-ROM、VCD；
7. 杜比（Dolby）数码式多声道音频编码，多轨语音输出；
8. 拷贝保护。

为了提高纪录容量和音频、视频质量，DVD 目前主要是采取以下综合措施：

1. 提高盘片密度，采用多层结构，将多个记录面粘贴在一起，层间留空隙，上下移动聚焦透镜即可将多层数据读出，从而成倍提高记录容量；
2. 采用 MPEG-2、Dolby AC-3 分别作为视频、音频的压缩标准，具有很好的画质、音质；

3. 用波长为 635~650nm 的红色半导体激光器代替普通 CD 的 780nm 波长的半导体激光器，原因是缩短波长可提高记录容量；
4. 将透镜的数值孔径从用于 CD 的 0.45 增加到 0.60，从而减小了光斑直径。

DVD 播放的数据由视频、音频和辅助数据三大部分组成。

DVD 播放视频时，只允许存在一个视频流，并向下与 MPEG-1 视频流兼容。DVD 采用 MPEG-2 标准中的 MP@ML 作为它的视频规格，该规格可支持多种分辨率，最高可到 720 线。该规格既可处理恒定速率的视频流，也可处理可变速率的视频流。

视频显示格式有 16: 9 和 4: 3 两种，这两种格式可进行显示转换，如表 5.2 和图 5.11 所示。首先使用画面压缩录制技术将宽银幕电影压缩成幅型比为 4: 3 的图像。若使用 16: 9 的格式重播时可由 DVD 播放机直接输出到电视机，经内部处理后，还原为宽银幕的幅型比；若使用 4: 3 格式由电视机重播时，可由 DVD 播放机的转换输出接口输送视频信号到电视机，然后用信箱式（上下留黑边）或拉移式（画面左右拉动）的方法进行重播。

表 5.2 16: 9 和 4: 3 的显示转换

	4: 3	16: 9
4: 3	无转换	电视机上的水平滤波
16: 9	使用垂直滤波器的信箱式、拉移式	无转换

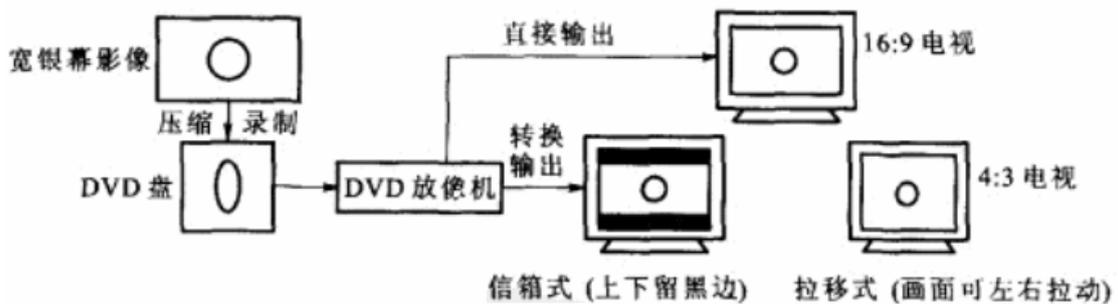


图 5.11 16: 9 视频源的显示转换

DVD 播放音频时，最多允许 8 个音频流并存。音频流按类型可分为线性 PCM、Dolby AC-3 和 MPEG-2 音频。NTSC 制采用 Dolby AC-3，PAL 制采用 MPEG 音频，表 5.3 比较了这三种音频标准的参数。线性 PCM 是没有经过压缩的无损线性脉码调制音频标准，做多同时使用八个 PCM 声道。对 MPEG-1 而言，仅使用 Layer II 语法，其单声道速率为 32~192Kb/s，而立体声速率为 64~384

Kb/s; 对 MPEG-2 而言, 主体流与 MPEG-1 相同, 扩展流的速率可达 582 Kb/s, 加上主体流的综合速率高达 912 Kb/s。Dolby AC-3 和 MPEG 音频均使用 5.1 声道。与现行矩阵环绕声相比, 5.1 声道数码环绕声的前面三个声道(左、中、右)与之不同, 但增加了一个超重低音声道, 而且后置环绕声为立体声输出并覆盖整个音频带(20kHz), 可以提供现场感极强的音效。

表 5.3 DVD 音频格式

	现行 PCM	Dolby AC-3	MPEG
取样格式	48 kHz, 96 kHz	48 kHz	48 kHz
比特数	16/20/24bit	压缩	压缩
传输速率	≤6.144Mb/s	≤448Kb/s	≤640Kb/s
声道数	最多 8 个	最多 5.1 个	最多 5.1 个

辅助数据实际上是覆盖在视频之上的位影像(2bit/像素)。它可以是菜单、字幕, 也可以是卡拉 OK 歌词以及一些简单的动画, 最多允许并存 32 个流。该规格的缓冲器容量是 62KB, 每个游程编码的位数上限小于等于 1440 位。像度被分为四种类型: 背景、前景、加重-1、加重-2; 像素颜色可以从 16 色调色板上选出 4 种, 对比度也是一样。每个视频场允许有各自的色度和对比度。

DVD 系统的总体框图如图 5.12 所示。DVD 系统包含 DVD 播放机和 DVD 光盘。DVD 播放机主要由机械驱动机构、读装置、光盘信号处理系统、伺服控制、压缩解码系统和系统控制部分等构成。

DVD 的工作过程大致为: 首先由激光头读出存储在 DVD 盘片上的复合数据, 经电流/电压转换放大器送入光盘信号处理系统。反映光盘信号的电压信号很小, 需要经过高频信号放大后方可由 DSP 进行数码提取、解码, 并进行前向误码的检测和校正。光盘的读取精度极高, 哪怕微小的灰尘和杂质均能使盘片倾斜, 并在高速旋转时起伏不定而造成数据读取混乱。为了避免这种现象发生, 系统对跟踪误差进行检测, 高速伺服处理控制模块通过控制机械驱动机构完成对信号提取的“聚焦伺服”和“跟踪伺服”。经过 DSP 处理后输出的信号被传输层解复用系统接收, 从多个节目流中挑选用户指定的节目流, 并将视频/音频流分别送入 MPEG-2 视频解码器和 AC-3 音频解码器。视频解码器重建被压缩的视频数据, 并从中获取辅助数据流送入辅助数据解码器完成辅助数据的重建。当数据流幅型比和显示器幅型比不同时, 还要进行显示格式转换的处理。解码后的视频信号和辅助数据相叠加, 经视频数模转换后输出到 NTSC/PAL 编码器以产生 NTSC

或 PAL 制的模拟全电视信号。AC-3 音频解码器重建被压缩的音频数据，重建后的音频数据既可送入音频数模转换模块产生立体声信号，也可直接由 IEC958 数字音频接口输出数字音频。中央微处理器模块执行系统控制功能，主要完成系统监控、实时处理 DSP、伺服控制并处理解码器运行时发生的一切事件。

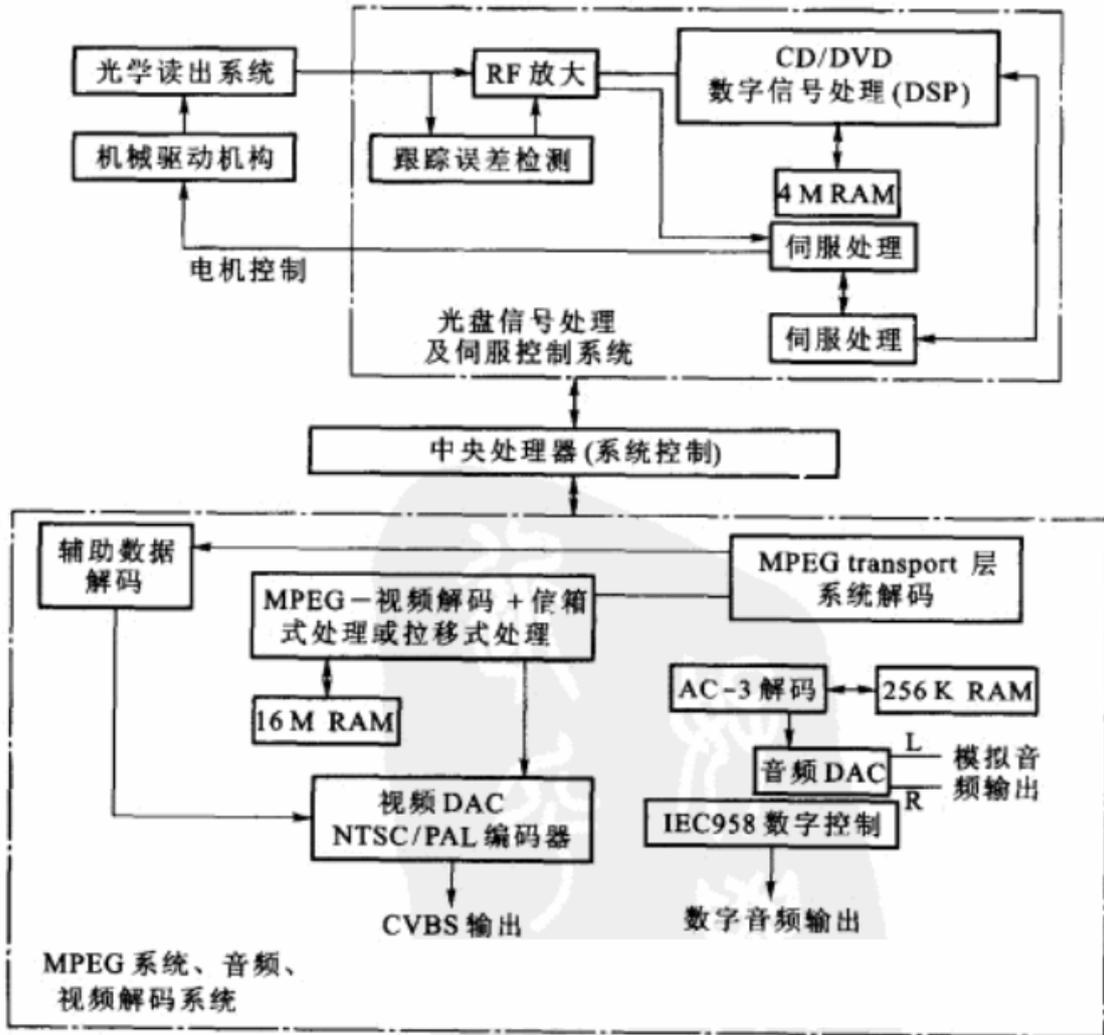


图 5.12 DVD 系统方框图

### 5.3.4 可擦写光盘

从早期开始，光谱存储技术就一直寻求可擦性，即像磁存储技术一样用类似的方法读/写数据的能力，但其存储容量却要大得多，且具有光盘存取器的其它独有的特点。

整个 20 世纪 60 年代到 70 年代初期，光学存储方面的研究工作几乎全部指向那些有希望具有可逆性的材料。直到 70 年代末，才有几家日本公司报道了在光磁介质方面取得的鼓舞人心的进展。由于对于不要求永久性存储的许多应用，特

别是大多数计算机存储应用来说，可擦性是必要的。人们普遍认为，可擦性是光盘存储器能否与磁盘存储器竞争，并在某种程度上取代后者的关键所在，因而计算机系统和光学介质的许多研究单位和生产厂家一直在追求这个目标。经过长期努力，最终生产出具有磁盘驱动器读/写能力的光盘驱动器，其中包括利用磁光技术和相变技术的光谱存储器。

对于可擦式光盘而言，光磁型也好，相变型也好，其缺点是都需要擦除状态，没有擦去旧的信息时，不能写入新的信息。这一点与磁记录不同，磁盘可在原位重写。

### 1. 光磁盘存储器

光磁盘存储器是利用磁性材料作为记录介质，用激光作为记录、读出和擦除手段的存储器。对光磁读/写技术的研究工作，要比其它光盘技术开始的更早。早在 1957 年，美国贝尔实验室等已经用热笔在 MnBi 薄膜上记录，根据法拉第效应观察其写入的磁区，致力于光磁存储技术的开拓研究工作。进而在 1958 年 Mayer 提出居里点记录法，用电子束记录微小的线状磁区。1960 年，Miyata 利用克尔效应进行光读出实验，并于 1965 年提出了利用磁性石榴石  $\text{Cd}_3\text{Fe}_2\text{O}_{12}$  在其补偿温度附近矫顽力的急剧变化以进行补偿点记录的方法。

激光的出现大大促进了光磁材料的研究。由于一系列的原因，光磁研究在一段时间内曾处于停滞状态，随着电视录像盘的开发、外围技术的进步，研究工作再次活跃起来。1980 年，日本 KDD 研究所在 TbFe 和 GdTbFe 非晶体薄膜上，用半导体激光记录、擦除，获得的信噪比为 26dB。从此，光磁记录又显露头角。

光磁记录的原理如图 5.13 所示。光磁盘所用磁膜有一个容易被磁化的轴，它与膜面垂直。磁膜制成后，膜面上向上和向下的磁畴杂乱排列。如对磁膜施加比矫顽力  $H_c$  更强的磁场  $H_0$ ，磁化  $M$  即转向一个方向，成为输入信号前的初始状态，如图 5.13(a)。记录原理与垂直磁记录相同，但时间的方法相异。

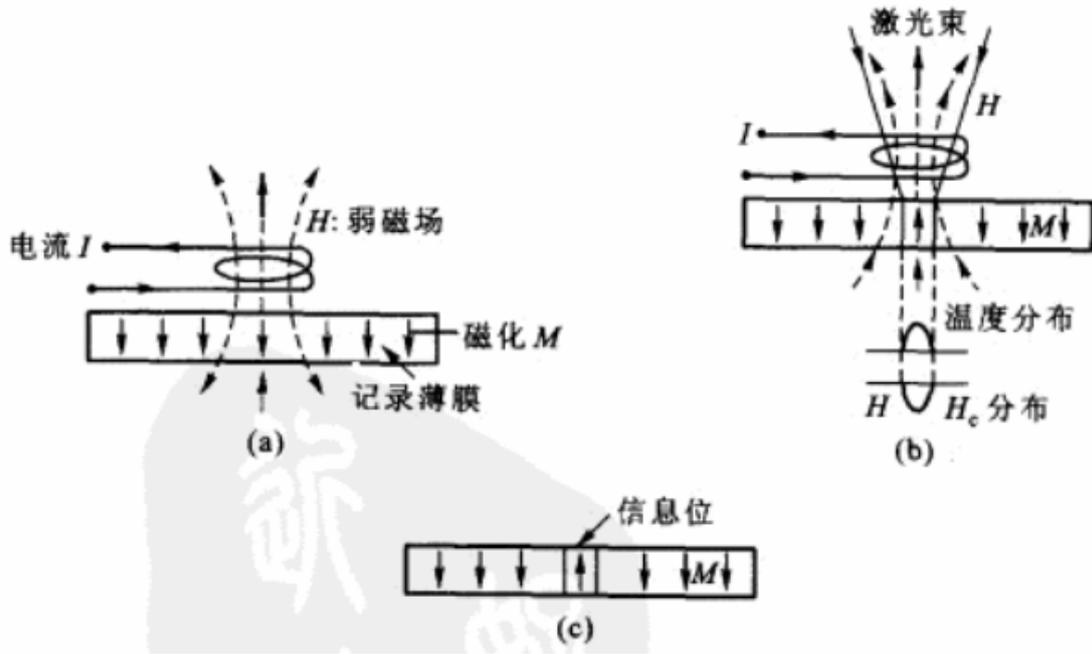


图 5.13 光磁盘记录原理

((a) 初始状态; (b) 激光照射时; (c) 记录状态)

(1) 按照要记录的方向施加弱磁场 $H_0$ 。为了施加垂直磁场，磁光头痛常有一个围绕其读/写物镜绕制的线圈，它可以在以物镜轴线为中心的较大的范围内产生中等磁场（一般为  $7957.8\sim 47746.8\text{A/m}$ ）。为了使磁场与盘面保持垂直，常在光盘的另一侧放置一块磁板。

(2) 写入时，是记录介质的磁化方向  $M$  重新所必需的磁场强度随着记录介质的温度而变化，一般随温度升高而减小。此时临界温度是居里温度  $T_c$ 。高于  $T_c$  时，材料的矫顽力  $H_c$  即下降到为零。如图 5.13(b)所示，用激光照射要写入的区域，使那里的温度上升到居里温度，降低材料的矫顽磁力，从而可用  $7957.8\sim 15915.6\text{A/m}$  的辅助磁场使其磁化转向，介质原有的磁化  $M$  即随  $H$  翻转。

(3) 写入脉冲结束后，未经照射的相邻的位单元仍保持原有的磁化  $M$ ，这样就形成了与记录的数据相对应的正单元和负单元，以磁化方向的差别形成记录的信息。由此可见，写入信息时通过在时间-空间上使辅助磁场与光束的局部加热相吻合来实现的。光磁介质中的光学信息标志与磁泡存储中代表数据的磁泡非常相似。

当把激光束从选择的位单元上断开时，该单元的温度即恢复到室温，而室温下的正常矫顽力高达  $15915.6\sim 23873.4\text{A/m}$ ，要改变磁性需要极强的磁场。用于高密度软盘的磁性介质的最大矫顽力为  $47746.8\text{ A/m}$ ，这意味着光磁记录在室温下

有极其可靠的抗偶然擦除性。

上述记录方法称为“居里点”写入，用于铁磁性层。亚铁磁性材料则具有称之为“补偿点”写入的可能性，这种记录给予铁金氧化物中的两种磁性子晶格对温度的不同依赖性。根据成分，铁金氧化物可能具有补偿温度 $T_{\text{comp}}$ ，在该温度下两种子晶格的净磁化为零。在 $T_{\text{comp}}$ 附近，矫顽磁力 $H_c$ 与 $T - T_{\text{comp}}$ 成反比，也就是说，它是温度的陡函数。选择磁层的成分，使其 $T_{\text{comp}}$ 刚好低于室温。在室温下，接近 $T_{\text{comp}}$ 时， $H_c$ 可能比存在于铁磁体中的值要高得多。当把某点的介质用激光加热到高于 $T_{\text{comp}}$ 时，该点介质的 $H_c$ 迅速下降。这样，在大大低于居里温度的情况下，就可得到相当小的 $H_c$ ，从而可在较低的温度下进行记录。

用激光读出记录的磁化方向时要利用克尔效应或是法拉第效应，它们表现为光与磁化介质相互作用时其偏转状态的变化。当介质的磁化方向与光的传播方向完全一致时，上述效益最大。在磁化方向与记录介质平面垂直时可得到这样的相互关系，这也就是选择垂直磁化薄膜的原因。

法拉第效应是 1845 年由 M.Faraday 发现的。他发现，如果将铅玻璃之类的透明物质放入磁场内，并使与磁场方向平行的直线偏振光通过它时，直线偏振光的偏振面就发生旋转，其旋转方向只与磁场的方向有关。旋转角 $\theta$ 与透明物质的厚度（光通过的长度） $L$ 及磁场强度 $H$ 的关系可表示为

$$\theta = KHL \quad (5.3)$$

式中  $K$  称为 Verdet 常数，它取决于物质的种类、光波长和温度。

克尔效应是直线偏振光从强磁极反射回来时，其偏振面发生旋转的现象。在此情况下，如果相对于照射光磁极的磁化方向向上时，从光的传播方向看去，其偏振面向右旋转。反之，磁化方向向下时，则向左旋转。因此，将直线偏振光射向磁极，并检查反射光的偏振面，就可检测出磁极的磁化方向。克尔效应是 1877 年由 J.Kerr 发现的。

光磁记录的读出，就是检测记录介质的磁化方向。从原理上讲，它既是利用法拉第效应，也可利用克耳效应。检测透过记录介质的光时要利用法拉第效应，检测从记录介质表面反射的光时要利用克尔效应。但不管采用哪一种方式，都必须把激光变为直线偏振光的起偏器和检测偏振面的检偏器。

设计的关键在于应尽可能减少透过记录介质的光的衰减，或尽可能增强从介质表面反射回来的光线的强度，尽可能增大它们的旋转角度等。使用克尔效应的较多，但也有一方面使用反射光、同时又用反射镜使透过介质的光再返回来，使

之再次通过介质，从而把两种效应结合在一起使用的情况。克尔旋转角很小，一般只有  $0.3^{\circ}\sim 0.5^{\circ}$ ，当把两种效应结合在一起时，可达到  $16^{\circ}$ 。

利用克尔效应读出的原理如图 5.14 所示。光是电磁波，在与光的行进方向垂直的平面上，其电磁场矢量通常是向所有方向振动的。这种光通过起偏器后就变成线偏振光，照射到记录介质上，从表面反射或透射过去。从此，偏振面即根据磁化  $M$  的方向旋转。例如，对于向上磁化方向，偏振光面旋转角度为  $\theta_K$ ，而对于向下的磁化方向，则逆向旋转角度  $\theta_K$ 。这样，如果检偏器的透过轴与  $-\theta_K$  正交，则从磁化方向向下的区域来的反射光不能通过检偏器，而从磁化方向向上的区域来的反射光则可通过  $\sin(2\theta_K)$  的分量。因此，磁化方向向上的区域与磁化方向向下的区域相比，就显得比较亮，这就是读出的原理。用光检测器将光的强弱转变为电流的大小，就可检测出相应的信号。

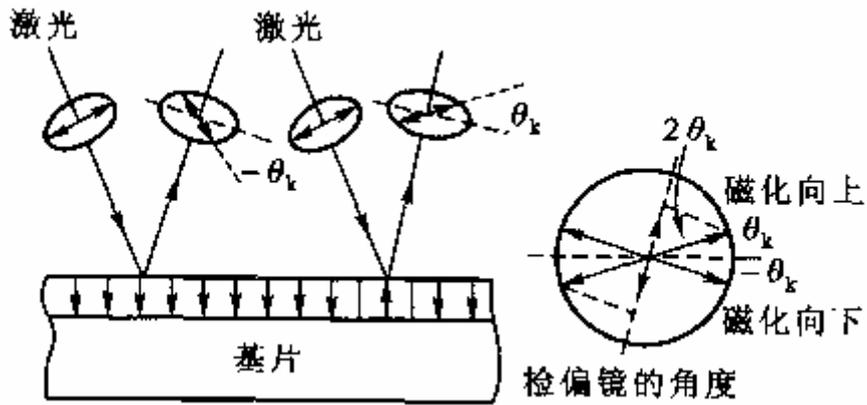


图 5.14 光磁读出原理

要擦去信息时，只需用大功率写入光电照射数据道，外加反向的直流偏压磁场，照射区域的磁化即翻转到原来的方向。由于在转换相当大的磁场时有速度限制，因而光盘的一转用来擦去数据，将磁化置于 0 的方向，然后在下一转再写入。

光磁盘上所用的存储介质，决定着它的最终性能。作为记录材料，除对存储介质提出的一般要求外，还特别希望它能实现光密度记录，光磁效应大，由晶粒边界所产生的介质噪声小等。光磁材料大致可分为单晶体、多晶体和非晶体材料三种。多晶体材料以  $MnBi$  为代表，被研究的最多。但晶体材料以磁性石榴石为主；最合适的光磁材料属于非晶体的稀土——过渡金属，分为铁合金和钴合金两类。

但是磁光盘在广泛使用的 CD-ROM 驱动器上无法读取，不能满足信息社会

对计算机数据交换和数据分发法要求,因而使磁光盘的应用范围受到了较大的限制。

## 2. 相变型可擦式光盘存储器

相变型光盘利用记录材料的结晶态和非结晶态之间的可逆相变,实现信息的记录和擦除。写入过程是通过使灵敏层局部熔化,以实现晶态—非晶态转变。很多熔化后的硫族化合物在骤冷时,显示出凝固成非晶态的倾向。擦去数据则是非晶态—晶态的退火过程。

所谓结晶状态,就是原子的排列在长距离内很有顺序,折射率与吸收系数大,一般说来反射率也大。而非结晶状态则是原子的排列顺序在长距离内没有顺序,与结晶态相比,折射率和吸收系数小,反射率也小。利用结晶态与非结晶态的反射率的差别,产生光学对比度,就可记录和读出信息。

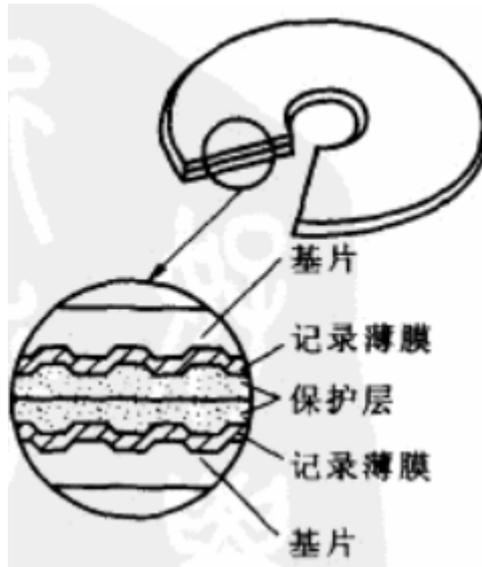


图 5.15 相变型光盘的结构

相变型光盘的结构如图 5.15 所示。用丙烯酸或聚碳酸酯树脂制成基片,在其上预制出记录信息的导向槽,槽宽  $0.6\sim 0.7\ \mu\text{m}$ 。用蒸法或喷镀的方式在基片上形成记录材料的薄膜,再在薄膜上附加保护层。将两片这样的盘粘贴在一起,就可从两面使用,用半导体激光器在薄膜上聚焦以记录信息。

结晶态与非结晶态之间的相变依赖于冷却速度,在热平衡状态下不会产生相变。图 5.16 给出了几个热变态过程,直线表示温度的急剧变化,波纹线则表示温度的缓慢变化。

加热熔融后急速冷却的过程(1),因为高速变化,可用做记录过程。刚蒸法之后不久也是一种非结晶状态,用适当方法(过程(4))使之结晶,即成为未记

录的初始状态。将其一部分加热升温，使记录材料一度熔化，经过液态时，原子则无规则的杂乱排列。如果在出去热源（光）后，热量快速向基片扩散，使其急剧冷却，由于这个过程比结晶速度还快，一下子冷却到玻璃化转变温度  $T_g$  之下，记录材料就以非晶态的形式凝固并保存下来。旋转的光盘在大功率聚焦光点的照射下，就能实现这个过程（1）。

擦除信息就是把记录位内的非结晶状态再转变为结晶状态，实现这一过程有两种方法，就是使记录介质熔化，经过液态后慢慢冷却而使之结晶化的过程（2）；以及固态下的结晶化过程（3）。在这两种过程中，达到的结晶状态一般不同，反射率也有差别。

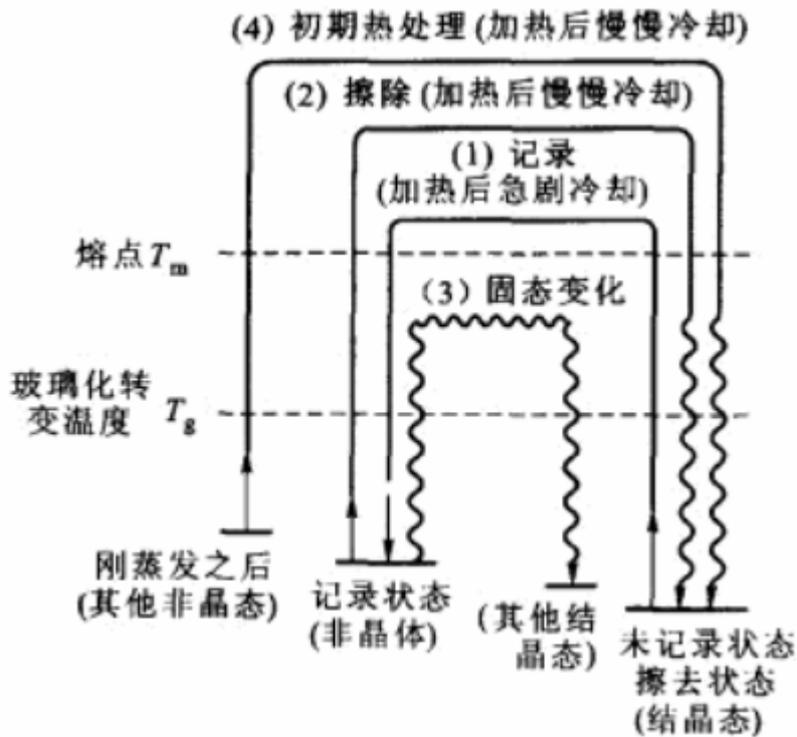


图 5.16 热变态过程

磁光盘是利用磁技术和光技术相结合来记录和读取信息的，而相变光盘仅用光写技术来读/写，所以读/写光头可以做的相对比较简单，存取时间也可以缩短；由于相变光盘的读出方法与 CD-ROM、CD-R 光盘相同，因此，兼容 CD-ROM 和 CD-R 的多功能相变光盘驱动器变得容易实现，相变光盘技术将成为光存储技术中的主流，具有广阔的应用前景。CR-RW 和 DVD-RAM 等新一代可擦写光盘存储器均采用了相变技术。

## 5.4 其它光存储技术

### 5.4.1 双光子光学存储

双光子光学是利用双光子存储材料的基态分子在一定波长和强度的光作用下，同时吸收两个光子，从而产生分子结构的变化，并导致材料的吸收谱、折射率、荧光发射等变化来进行存储的。实现这种存储的必要条件是双光子光致色变反应，这是一个非线性过程。即只有当 $\lambda_1$ 和 $\lambda_2$ 两个光子同时聚焦于一点的能量叠加才会导致光致色变的发生，从而实现记录。双光子存储的读出有三种方式：荧光读出、折射率变化读出和非线性吸收读出。

进行双光子光学存储时，写入使用短波长的激光（如 355nm 和 590nm）。双光子被吸收后介质发生光化学反应，从状态“0”变成状态“1”。读出时使用较长波长的激光（如 590nm），处于状态“1”的分子在该波长激光照射下会发出荧光，而处于状态“0”的分子则不会发出荧光。因此，通过检测读出光照射下介质的荧光效应就可以区分所写入的信号。对于发出荧光的材料而言，只要提高分子的荧光量子产生率，就可以避免分子在读出光照射下发生状态变化，因此，这是一种无损的读出过程。擦除时，由于需要更高的能量，因此需要用两束光同时照射（1064nm+590nm）。

实现双光子三维存储的方法如图 5.17 所示。用一束平民激光来选择工作面，而另一束激光照射已选择的工作面上实现读/写，也可以通过二元光学器件使两种不同波长的激光会聚于同一焦点上，使焦点处发生双光子吸收，存储信息，而其它感光层由于没有两种波长的光同时存在，而不发生反应。

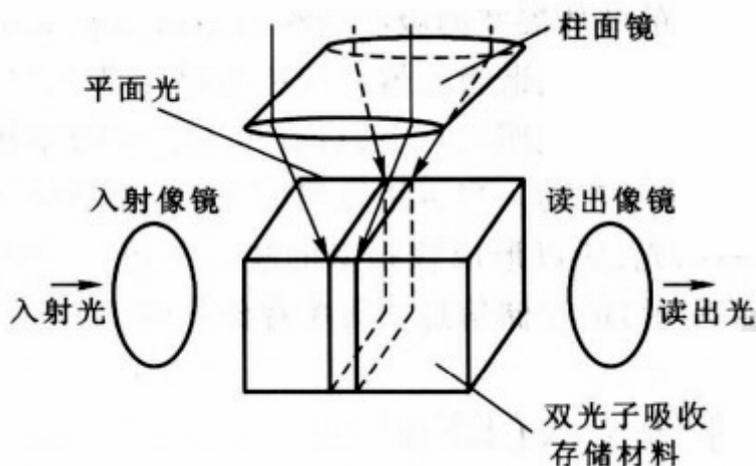
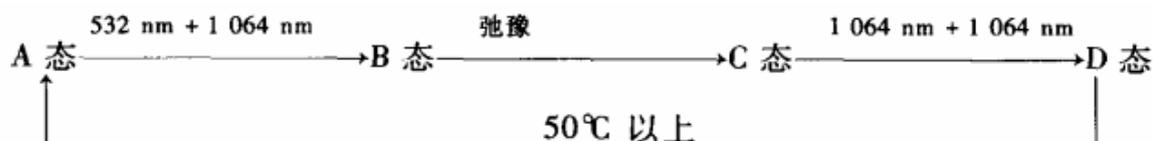


图 5.17 双光子三维存储示意图

能实现双光子吸收光存储的材料有：光致色变材料、光致聚合材料、光致荧

光漂白材料和光折变材料等。双光子吸收引起的分子能级跃迁，其响应时间可达到ps量级，能实现高密度存储，理论上的分辨率可以达到分子的水平。螺旋苯并吡喃是双光子吸收材料的一种，其双光子吸收机理如下：分子初始态为A态，吸收了一个波长为 532nm和另一个波长为 1064nm的光子后，分子首先被激发到B态，然后稳定于C态。当吸收了两个波长为 1064nm的光子后，分子会被激发到D态，这个是不稳定态。处于D态的分子会很快发出波长为 700nm的光子后稳定于C态。在这种机理下，写入数据就可以被读出，而不会被擦除。擦除数据时可以将材料加热到 50<sup>0</sup>C以上，通过热效应使分子从C态回到基态，即



### 5.4.2 光谱烧孔存储技术

光谱烧孔存储技术也可以使光的频率成为新的存储能，将传统的二维 (x,y) 光存储发展为三维 (x,y,v) 光存储。与现在的存储能力相比 (10<sup>8</sup>bit/cm<sup>2</sup>) 可以高 3~4 个数量级。光谱烧孔存储技术是利用分子对不同频率光线的吸收不同来识别不同分子的。用频率为  $\omega_0$  的窄带强激光照射工作物质，同时用另一束窄带可调谐激光扫描该物质非均匀展宽的吸收谱线，则在吸收频带  $\omega_0$  会出现一个凹陷，就好像是用此频率的光束在此位置上烧出了个一只对频率  $\omega_0$  响应的“孔”。从原子物理的角度讲，在窄带强激光的激发下，与激光发生共振的那些粒子几乎全部被激发到激发态E<sub>2</sub>，测量这些粒子从基态E<sub>1</sub>到激发态E<sub>2</sub>的吸收时，会出现饱和现象，不会出现正常的吸收，若用激光扫描整个吸收线，测量透射光的频率，就会在吸收谱线上出现凹陷，即所谓的“孔”，如图 5.18 所示。

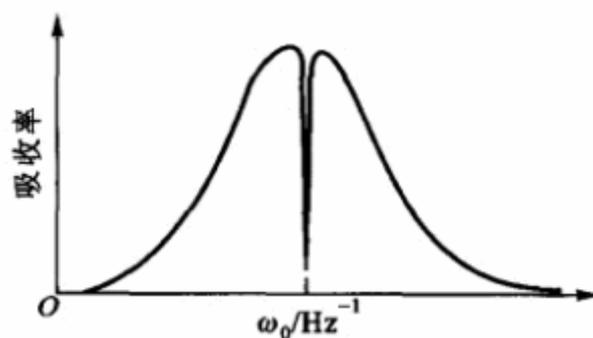


图 5.18 光谱烧孔示意图

在存储分子密度较低的介质中，分子之间没有能量的转移，而每个分子有处

于不同的分子环境中，因此介质中的每个分子有自己相应的吸收带，其宽度  $\Delta\omega_h$  称为均匀加宽带，所有这些分子的吸收带叠加形成一个连续的整体展宽的吸收带，称为非均匀加宽带  $\Delta\omega$ ，如图 6.19 所示。在  $\Delta\omega_h \ll \Delta\omega$  的情况下，在低温下可用可调谐激光器将频率调谐至非均匀加宽频谱带内任何一个频率上，并以强光照射存储介质。在此照射点上，只有与入射光频率相同的分子被激发，并通过光化学变化，转变成了其它光化学产物。当再用较弱的光扫描这个点时，已产生光化学变化的分子不再吸收对应的这个频率的光，所以形成该频率的缺口（“孔”），按孔的“有”和“无”来编码，形成“0”和“1”（如图 5.20 所示）的存储信息。频率存储的密度由  $\Delta\omega / \Delta\omega_h$  的比值来决定。

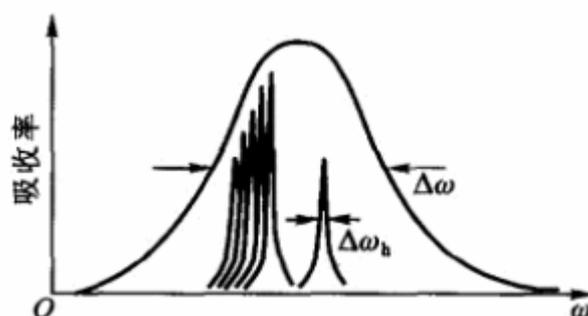


图 5.19 非均匀加宽带示意图

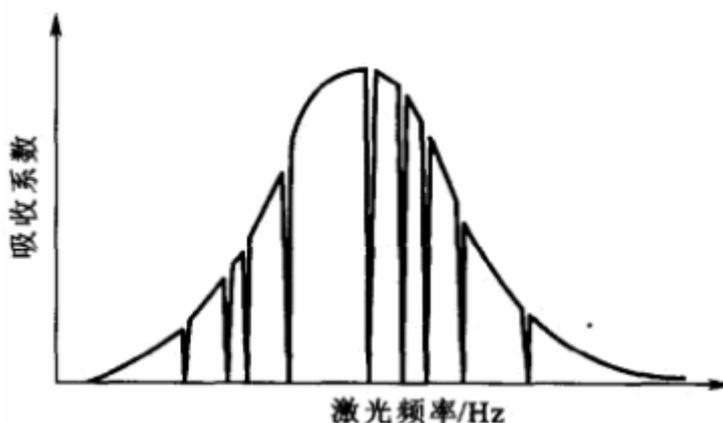


图 5.20 频率域多重存储

### 5.4.3 电子俘获光存储技术 (ETM)

电子俘获是通过使用不同波长的低能量激光去俘获、释放光盘特定斑点处的电子来实现信息的写、读、擦过程。当写入光照射时，材料中产生大量的电子和孔穴，它们被俘获在晶体的内部的陷阱中，如图 5.21 中的 T 能级，处于 T 能级中的电子不允许再做移动和交换，从而将辐射能量存储起来。处于这种“电子陷

阱”中的电子不可能由于热运动而跃迁至联系带 E，并由 E 态返回到基态。当受到读出的光激励时（能量小于写入光），陷阱中的载流子（电子和孔穴）脱离陷阱而与发光中心复合发光。由发光可以判断某一处俘获的电子存储了信息。而每一次都是以电子回复到自由态为代价的。因而用大功率的光照射存储介质，可以将存储的信息全部擦除。

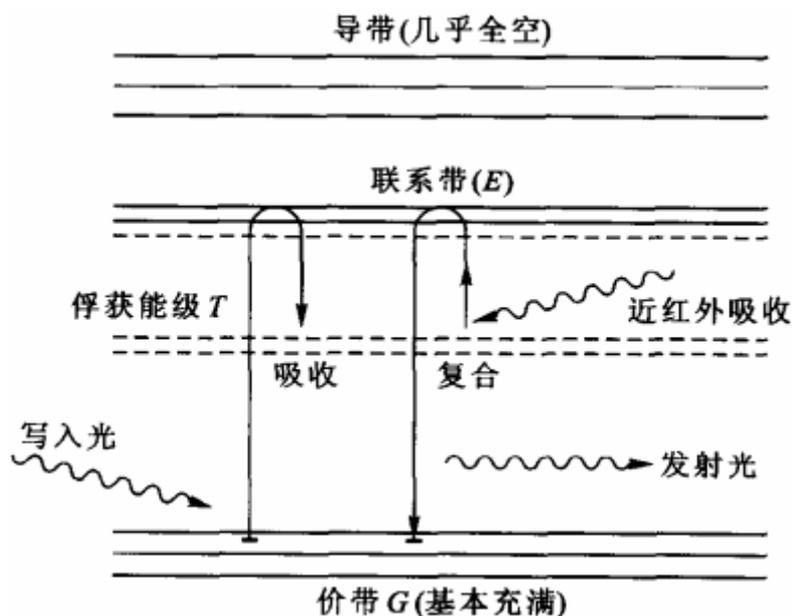


图 5.21 电子俘获存储能级系统

由于存储俘获的电子与写入的能量是线性的关系，因此可以做成模拟或多电平数据的存储介质。采用多电平鉴别相关码技术可以做成高密度存储。另外写入和读出只改变电子能态，理论上说写和擦的循环次数是无限的。

电子俘获材料可以按读出波长的不同来区分。例如对于掺铕和铈的硫化镧材料，用 400nm 激光写入信息时，将一个基态  $\text{Eu}^{2+}$  激发成激发态。用波长为 1064nm 的红外光读出信息时，陷阱中的电子又会返回铕离子，当电子返回基态的时候， $\text{Eu}^{2+}$  会释放出波长为 615nm 的光子。

### 5.4.4 高密度磁光存储技术

#### 1. 磁超分辨技术 (MSR, Magnetic super resolution)

所谓磁超分辨是一种用磁隔离方式掩盖进入光斑内的多余磁畴标记以保证分辨率的读出技术，它可以在不改变现有磁光驱动器读出激光波长条件下，通过在磁性材料上覆盖磁性掩模层（也称读出层）来实现小尺寸记录畴的读出，现在已实用化。如图 5.22 所示，磁光盘的磁性层一般由记录层 ( $\text{TbFeCo}$ )、开关层或

称磁掩盖层 (TbDyFe)、读出层 (GdFeCo) 组成。记录层的矫顽力和居里温度相对较高, 起数据存储的作用。读出层的作用是通过开关层复制记录层的数据。开关层是控制记录层同读出层之间数据交换的开关, 其居里温度设定为 150℃。常温下, 在初始化磁场的影响下, 矫顽力低的读出层沿一个方向磁化, 由于开关层磁掩盖, 记录层与读出层之间不能进行数据交换。当读出激光束照射到转动的光盘上, 在光斑内形成空间温度分布, 前部温度最低、后部温度最高, 只有光斑内 150℃这一温度点能消除开关层界面的磁畴壁, 从而将记录层的信息复制到读出层, 并进行读出。读出过程如图 5.22 (b) 所示: (1) 光斑尚未经过记录磁畴标记; (2) 光斑刚进入标记, 但光斑仍处于低温, 开关层未开启; (3) 标记处升高到 150℃时, 开关层界面磁畴壁消失, 记录层的信号被复制到读出层; (4) 温度降至 150℃以下, 开关层关闭; (5) 光斑离开标记, 读取下一个标记。MSR 技术的关键在于, 只利用光斑内的居里温度点 (即所谓“针孔”) 读出信号, 是一种屏蔽光斑内多个记录信号, 只读取出一个信号的方法, 客观上提高了读出分辨率。其最佳可分辨尺寸大约为 200nm。

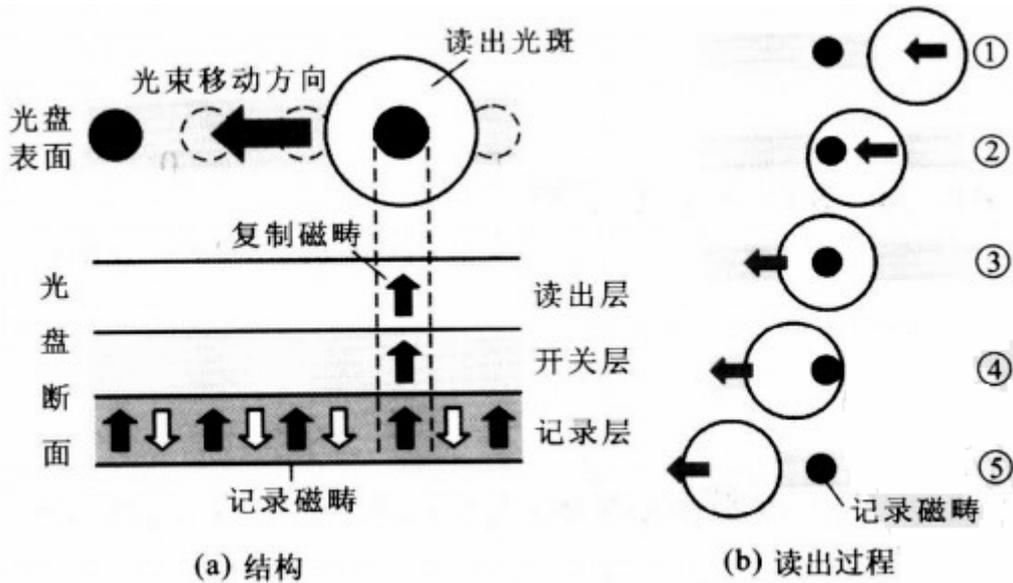


图 5.22 MSR 原理示意图

## 2. 畴放大读出技术 (MAMOS, Magnetic Amplifying Magneto Optical System)

尽管蓝光、紫光灯等短波长激光器的研究取得了很大进展, 存储标记尺寸越来越小, 标记在读出光斑中所占的面积也越来越小, 但是即使采用磁超分辨技术, 读出信号强度也会很低, 信噪比 (S/N) 差。为了解决这一问题, 提出了一种磁畴放大磁光系统。

MAMOS 原理如图 5.23 所示。MAMOS 磁光盘磁性层包括 GdFeCo 读出层、SiN、Al 合金组成的开关层和 TbFeCo 记录层，开关层决定读出信号的频率特性，起着重要的作用。磁放大读出大致分为三步：（1）激光照射加热记录层，中心温度高于某一温度后，开关层打开，记录层的记录磁畴标记向读出层复制，此时外加磁场为零；（2）当读出磁畴标记受到一个外加磁场（大约 8kA/m）作用时，其磁畴会扩大，将其放达到光斑大小，读出信号的幅度也成倍的增大；。（3）当外加磁场反向时，将放大的磁畴缩小、继而消除，然后进行下一个读出动作。

MAMOS 是通过从外部施加能量（热能和磁场），将要读出的磁畴放大到读出光斑大小。因此即使记录标记小，读出信号强度也不会减弱。磁畴放大读出技术同时解决了光学分辨率和读出信号强度低的问题，有利于大幅提高记录密度，存储密度的极限取决于磁畴记录技术。

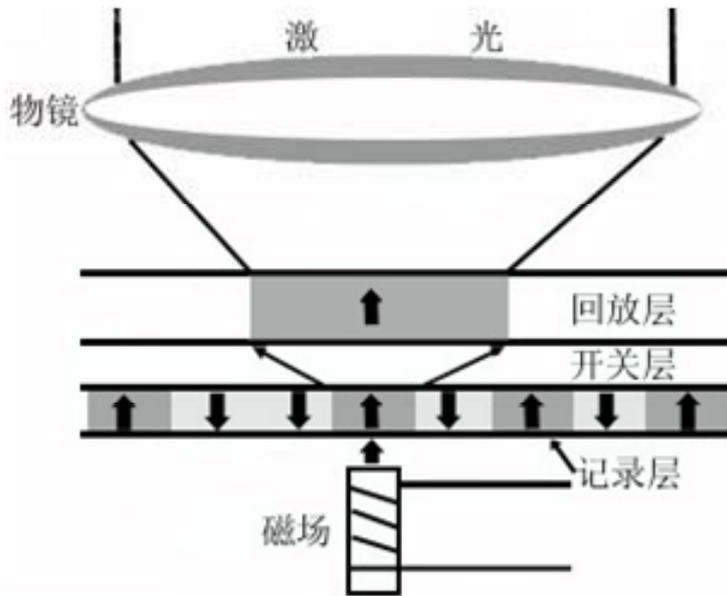


图 5.23 磁畴放大读出技术

### 3. 畴壁移动检测技术 (DWDD, Domain Wall Displacement Detection)

畴壁移动检测是利用磁畴壁在温度梯度下引起的移动来放大磁畴，从而读取记录信息的一种新方法，其原理如图 5.24 所示。记录介质由小矫顽力的移动层、居里温度相对低的开关层和大矫顽力的记录层三层磁性交换耦合层组成。室温下，三层之间的畴壁有较大的摩擦力，移动层的畴壁不能移动。如果用激光局部加热记录膜，当温度超过开关层的居里温度时，开关层磁性小时，移动层和记录层的交换耦合失去作用，移动层与记录层摩擦力消失，温度分布不均匀会产生一个作用于磁壁的力，当此作用力超过移动层的矫顽力

时，移动层的磁畴壁就会向高温侧移动，磁畴放大，从而提高读出分辨率。分辨率只与温度和畴壁移动的距离有关，而与记录磁畴的大小和光学衍射极限无关。光盘的记录密度取决于磁畴移动记录的技术。已确认 DWDD 可分辨的最小记录磁畴尺寸达到 0.75μm。

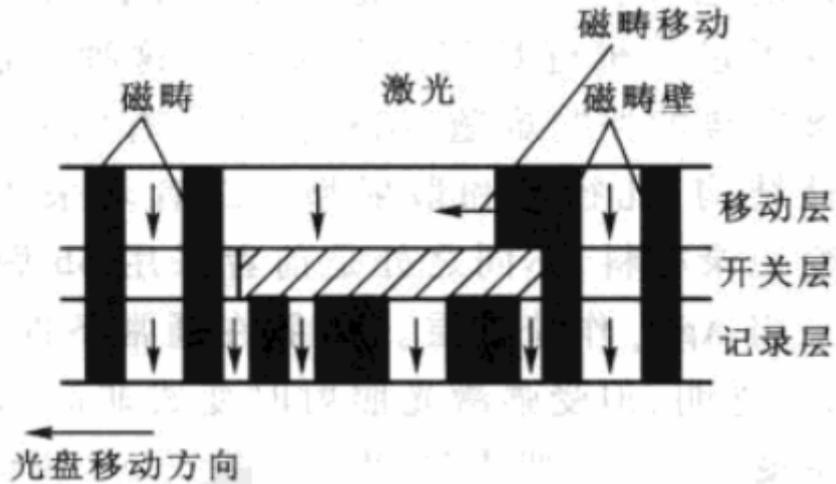


图 5.24 DWDD 原理

#### 4. 超分辨近场结构存储技术

光通过比波长还小的微细端口时，端口附近就会出射一种极其微小的光斑，这就是“近场光”，如图 5.25 和 5.26 所示。利用这种近场光可观察到几十纳米的微小物质，其分辨率取决于端口的微细程度和端口与观察对象之间的距离。

近场光用于信息存储，可将现在的光盘容量提高两个数量级，实现 Tbit/in<sup>2</sup>的记录密度。以前曾报道过利用近场光使磁光盘及相变光盘的记录标记达到了 50nm 直径。先前的实验采用图 5.25 和 5.26 所示的探针，由于探针尖端与光盘表面间的距离极接近（只有几十纳米），对于高速旋转的光盘，要保证这一高度一致和避免探针与光盘接触引起的破损是很困难的，因此这种探针方式很难运用于光盘系统。后来人们又提出了使用探针的超分辨近场结构（SRENS：superresolution nearfield structure），该结构具有与探针同样的功能，只需对光盘结构和光学系统稍加改动，就可以实现近场光记录和读出。

这种近场光存储膜结构如图 5.27 所示。掩模层在光照射下会产生纳米小孔，由于激光光斑能量的高斯分布，所以产生的小孔直径要小于聚集光斑直径，纳米小孔出射的光对相邻场距离内的记录层纳米级的记录标记能读出和写入，从而实现了超分辨近场记录和读出。这种方法解决了纳米级距离的控制难题，结构简单。有两种超分辨近场存储结构：孔径型和散射型。二者均采用 Ge<sub>2</sub>Sb<sub>2</sub>Te<sub>5</sub> 相变记录

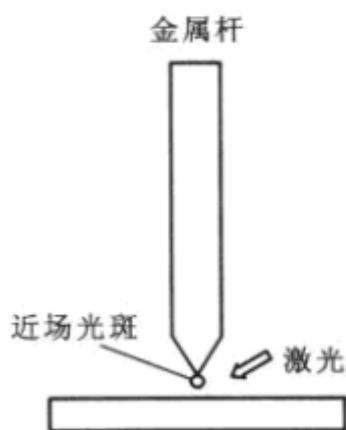


图 5.25 衍射型近场光斑

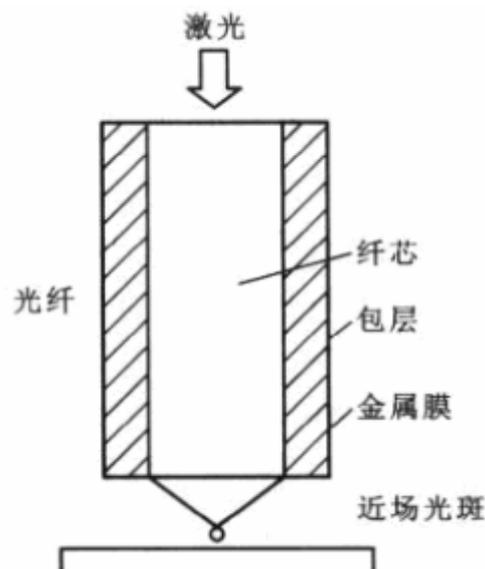


图 5.26 孔径型近场光斑

材料，不同之处是前者采用Sb做掩盖层，后者采用AgO<sub>x</sub>做掩盖层。Sb膜在通常条件下是结晶状态，不透明，但受强激光照射时变成非晶态，透射率也发生变化，从而变得透明。结果是Sb膜上在光斑中心点形成微小的光学小孔。因此孔径型SRENS就好像把孔径型探针尖端作用于掩盖层。而AgO<sub>x</sub>本身是透明的，受强光照射后分解成Ag颗粒和O<sub>2</sub>，这种Ag颗粒即是近场光的产生源，光斑通过后，分解的Ag和O<sub>2</sub>又还原成AgO。这一原理如同将散射型探针放置在光盘结构中。动态测试结果表明读取的信号记录长度最小已小到 60nm，超过了近场探测理论分辨极限 310nm。采用AgO<sub>x</sub>的散射型SRENS在工作方式、材料选择以及实际应用等方面均优于采用Sb膜的孔径型SRENS。这是因为利用化学分解、复原的方式速度更高。另外，化学反应是在较低的温度下进行，几乎不对记录标记产生热影响。与散射型探针一样，可通过表面等离子体激元的激励来增强近场光强度，从而提高信噪比。

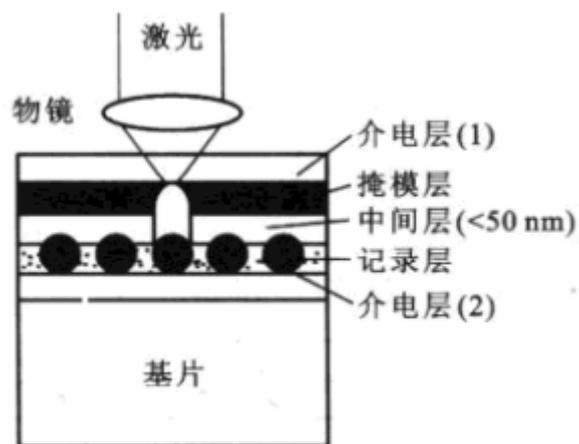


图 5.27 近场光存储膜层结构