

光盘存储技术、产业和市场的发展

Development of Memory Technology, Industry and Market of the Disk

干福熹¹ 董旭英

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 中国科学院院士¹ 上海 201800)

两年多前曾对光盘存储技术和产业的发展、高密度光存储技术以及高密度数字多用光盘 (DVD) 的发展分别作过介绍(见文献[1-3])。信息技术和产业的发展在这几年中继续迅猛发展,光存储技术和产业也有足够的增长,对于它们的发展趋向和进展已可以看得更为清楚。

今后 10 年,磁盘存储和光盘存储仍为高密度信息存储的主要手段。当前,高性能的硬盘 (1GB/in², 100MB/s) 主要为计算机联机 (in-line) 存储用,以专业 (Professional) 用为主。高性能光盘 (0.5GB/in², 10MB/s) 为脱机 (off-line) 可卸式海量存储和信息分配,以消费 (consumer) 用为主。但是这种相对的分工是会变化的,从某种程度上讲是互相竞争又相互补充。例如目前高密度磁盘 (包括硬盘和软盘) 采用光学方式实现伺服跟踪,而磁光盘早就用磁畴的方式实现存储。

一、近年来光盘存储技术的发展趋势以下列 3 个方面最为明显

1. 多功能

从只读式 (ROM) 到可记录 (R),一直到可擦重写或随机存储 (RW, RAM)。光盘驱动器 (或称光盘机) 力争做到相互兼容。

2. 提高存储密度

从目前的 CD 系列发展到 DVD 系列,一直到 HD-DVD 系列。我们把 CD (Compact disk) 系列作为第一代光盘技术的代表,它应用 GaAlAs 半导体激光器为读出和记录光源,激光波长在 0.78~0.83μm 左右;DVD (Digital versatile disk) 系列作为第二代光盘的代表,它应用 GaAlInP 半导体激光器为光源,激光波长在 0.63~0.65μm;第三代光盘用蓝绿光激光,如 ZnCdSe 半导体激光器 (波长在 0.50~0.55μm) 或 GaN 半导体激光器 (波长在 0.40~0.45μm) 进行读写,称为高密度 (High-density) DVD (HD-DVD) 光盘系列。另外,增大聚焦物镜的数值孔径也是提高存储密度的条件之一。NA 值越大,激光束的聚光光斑就会越小。但也不是 NA 值越高越好,因为这样做,光盘的容许俯仰角 (与光轴之间的倾斜度) 就会变小,对光盘变形的要求就愈苛刻,而且聚焦物镜的价格也愈高。

3. 提高数据传输率 (data rate) 和缩短存取时间

(access time)

这是目前光盘存储技术与磁盘存储技术相比最为欠缺的地方。提高数据传输率最重要的途径是实现直接重写,即随机地进行写入和擦除。目前新发展的如 CD-RW 和 DVD-RW (RAM) 皆采用此法。在数字光盘的制作过程中,对压缩信号的读取、还原已不像模拟播放系统那么重要,决定影音品质的关键在于高可变数据传输率。相同的编码技术,一般原则是数据传输率高的更可以实现高画质。缩短存取时间主要是减轻光头的重量和体积、最好使它集成化以及加快光盘的旋转速度。

表 1 列举了光盘存储技术发展进程表。我们目前还处在 CD 系列时代,正向 DVD 系列时代过渡。目前的研究工作集中于高密度 DVD (HD-DVD),它将在下世纪初实现产业化。超高密度 SHD (Super high density) - DVD 是要实现纳米级的光存储,可采用近场光学存储和数字全息光存储的方法,在文献[4,5]已作了概括的介绍。有人问及光盘存储的存储密度极限是什么?大致在 1000G/in²,因为当记录畴小于 10nm 后,会产生一系列微观物理问题,记录畴就不稳定不清晰。

近几年来,世界光盘产业是以 10~20% 的速度上升,至 20 世纪末约达到近 300 亿美元的市场需求。表 2 列出了 1998 年初统计及预测的世界光盘存储产品 and 市场。1998 年的年产值达 200 亿美元,无疑在光电子技术市场中占相当重要的地位,相当于光通讯的硬件产值,光盘产业的市场变化是很快的。下面就较成熟的 CD 系列和正在发展的 DVD 系列光盘存储产品 and 市场作进一步的分析。

二、系列产品的现状及其发展预测

1. CD 系列产品

(1) 只读式 CD

只读式 CD 产品,包括 CD-A (Audio)、CD-ROM、Video-CD (VCD) 等,仍是目前光盘存储的 70%。每年仍有 4000 多万台光盘机和 50 多亿张光盘上市。CD-ROM 光盘机的读出速度近几年差不多每年翻一翻,目前已有 45 倍速以上的光盘机。但是到 2000 年后只读式 CD 产品的发展,由于受只读式 DVD 的兴起将受到严重压制,占全部光盘产业的份额将下降。

表 1 光盘存储技术发展进程

时间	型号	记录波长 (nm)	Φ5 单面 容量 (GB)	存储密度 (Gb/in ²)	道间距 (μm)	最长记录 长度(μm)	扫描速度 (m/s)	存取时间(ms)	数据传输率 (Mb/s)
目前	CD系列	780	0.65	0.25	1.6	0.83	1.2~1.4	100	4.32
~2000年	DVD系列	635/650	4.7	2.0	0.74~0.59	0.44~0.28	3.84	30	26~27
~2005年	HD-DVD系列	430~500	20~50	10~20	<0.3	<0.2	10~20	10~20	50~100
~2010年	SHD-DVD	200~350	250	100	<0.1	0.05~0.1	30	2~5	500~1000

表 2 世界光盘存储产业分项市场统计及预估
(单位:百万美元)

产品别/年	1996年		1997年		1998年		2000年	
	市场值	市场值	增长率	市场值	增长率	市场值	增长率	预估
存储装置								
CD声盘机	5 121	5 263	2.77%	5 380	2.22%	4 842		
MD声盘机	478	922	92.89%	1 170	26.90%	1 416		
LD影盘机	367	190	-48.23%	35	-81.58%	0		
VCD影盘机	540	1 500	177.78%	1 560	4.00%	1 800		
DVD光盘机	28	264	842.86%	750	184.09%	2 000		
CD-ROM光盘机	3 750	4 500	21.33%	4 380	-3.74%	2 385		
DVD-ROM光盘机	0	216	—	966	347.22%	4 560		
可录式驱动器	310	506	63.23%	180	-64.43%	160		
可擦写式驱动器	762	900	18.11%	1 300	44.44%	1 400		
存储媒体								
CD、VCD、CD-ROM	2 087	2 700	29.37%	2 970	10.00%	3 267		
MD	175	288	64.57%	434	50.69%	669		
LD	300	165	-45.00%	41	-75.15%	0		
DVD	6	100	1566%	350	250%	2 000		
CD-R	435	273	-37.24%	224	-17.95%	225		
MD	160	192	20.00%	224	16.67%	288		
CD-RW	0	100	—	240	140.00%	300		
合计	14 519	18 129	24.86%	20 204	11.45%	25 312		

资料来源:PIDA

这两年 VCD 产品在我国突然发展出乎人们预料,因为在北美和西欧是没有什么市场的。VCD 机 1996 年国内市场销售 250 万台,1997 年与 1998 年皆超过 1 000 万台。主要是 VCD 适合于中国目前经济状况的家庭消费市场,并且正当录像机在中国家庭还不会普及的时候有市场需求,一种新产品出来后的几年市场发展都是很快的。如表 3 所示,CD 唱机在 80 年代初出现后销售量与这几年 VCD 机相当。1999 年后 VCD/DVD 兼容的光盘机会很快增长,但是中国尚有中、小城市和农村的市场,估计 VCD、CVD 和 SVCD 光盘机仍会保持年销 1 000 万台的市场,3~4 亿张的光盘片的市场也会保持。

(2) CD-R 和 CD-RW

这几年 CD 系列光盘存储技术另一个重要的发展为多种功能的开发,可录 CD(CD-R)和可擦重写 CD(CD-RW)的出现,并且形成巨大的市场。表 4 列举了 CD-ROM、CD-R 和 CD-RW3 种光盘的性能

和规格。CD-R 光盘不仅可以记录并且具有高的反射率($R>65\%$),读出可以与 CD-ROM 兼容。用有机染料作记录介质,光盘价格更便宜。光盘记录的数据可以保存几十年,因此自 1996 年以后美国等国家公开宣布可作文档长期保存,可以代替软盘作软件存储和代替磁带作文档和数据的长期保存,近 3 年来销售成倍增长。1998 年 CD-R 光盘机达到 300 万台,CD-R 光盘片达到 5.7 亿片。产量的扩大,随之使价格大幅下降,从而又使市场进一步扩大。有关方面估计,1999 年 CD-R 的世界市场为 15 亿美元,北美和欧洲各占 45%,其他地区占 15%。1 年前 CD-RW 产品出现,可擦重写性能使应用面扩大,光盘机的刻录可以和 CD-R 兼容,因此,今后光盘机的发展以 CD-RW 为主,预测 2003 年 3 700 万台 CD-R 和 CD-RW 光盘机中 CD-RW 占 98.9%,而 CD-R 光盘由于价格便宜和不可擦写在文档数据保存中十分重要,因此 2003 年 14.8 亿 CD-R 和 CD-RW 光盘片中 CD-RW 仅占 15.8%。

表 3 全球 CD 唱机和 CD-R 光盘机以及我国 VCD 视盘机年销量

	全球 CD 唱机 历年产销量 (万台)		我国 VCD 视盘机 历年产销量 (万台)		全球 CD-R 光盘 机历年产销量 (万台)	
第一年	1982 年	3	1994 年	≤2	1994 年	3.7
第二年	1983 年	45	1995 年	约 60	1995 年	21
第三年	1984 年	90	1996 年	350(其中 国产 250)	1996 年	92
第四年	1985 年	440	1997 年	1 000	1997 年	233

CD-RW 光盘在 CD 节目的开发、制作,文档的转移、交换、存档、电台、电视台及家庭娱乐节目的制作等方面都有着广泛的应用。尽管 CD 系列光盘正在逐步向 DVD 系列过渡,但由于格式之争的困扰,DVD 系列中与 CD-RW 作用相当的随机存储 DVD(DVD-RAM)光盘在短时间不会有正式统一标准的产品问世。并且,DVD-RAM 也将采用和 CD-RW 相类似的膜层结构和相变材料作记录介质,CD-RW 的成功将为 DVD-RAM 的开发打下坚实的基础。这得益于已安装的大量 CD-ROM 驱动器,且能够被 DVD-ROM 驱动器读出,CD-RW 在未来相当一段时间内将成为主要的可擦写光盘。对 CD-RW 光盘而言,需要解决的关键问题是提高盘片介质在低写/擦功率下的写/擦循环次数。解决这一问题的关键是性能优异的相变介质和最佳的薄膜结构。

表 4 CD 系列性能比较
(NA = 0.45, λ = 780nm, d_p = 1.6 μ m)

性能	CD - ROM	CD - R	CD - RW
跟踪方式	记录码跟踪	摆动预刻槽	摆动预刻槽
马达控制		ATIP	ATIP
寻址		ATIP	ATIP
参考速度	1X = 1.2 ~ 1.4m/s	1X, 2X	2X
写入功率	—	1X: 4 ~ 8mW 2X: 4 ~ 11mW	8 ~ 14mW
擦除功率	—	—	4 ~ 8mW
记录前			
反射率	R > 70 %	R _{sp} > 65 %	15 % < R _{sp} < 25 %
HF调制	I ₁ / I _p > 0.60	I ₁ / I _p > 0.60	0.55 < I ₁ / I _p < 0.7
不对称性	±20 %	0 < β < 8 %	- 10 % < β < 15 %
跳动	< 35ns	< 35ns	< 35ns
推——拉	0.04 ~ 0.07	0.04 ~ 0.09	0.04 ~ 0.11
记录后			

2 DVD系列产品

(1) 只读式 DVD

自 1995 年 9 月建立了统一的只读式 DVD 规格后, 大家期待 DVD - Video 和 DVD - ROM 将有一个飞快的发展, 因为与 VCD 和 CD - ROM 相比, DVD 的优越性是明显的。当时乐观预测会飞快地发展, 如 IDC 预测 1998 年只读式 DVD 的市场为 1 200 万台, 2000 年约为 9 800 万台; Info Tech 的预测 1998 年 DVD - ROM 加 DVD - Video 的产量为 1 350 万台, 2000 年近 6 000 万台; 1997 年日本电子机械工业会预测 1998 年 660 万台, 2000 年 4 710 万台 (见表 5)。本来, DVD 技术的成功处之一就在于它的全球统一格式 (8 种语言配音和 32 种文字字幕), 但因版权保护而引起地区分割障碍, 并由此而引起软件奇缺, 另外, DVD 的成本过高, 及缺乏硬件支持 (如彩电的水平解像度)。就因为这些问题的影响, DVD 市场的进展约拖延了 1 年多的时间。1997 年 2 月到 1998 年 6 月美国 DVD - Video 销售仅 60 万台, 140 个电影节目。Understanding Station 在 1996 年保守估计为 1998 年接近 100 万台。1999 年 1 月预测国内市场 DVD - Video 年内可能达到 100 万台, OEM 的价格在每台 2 000 人民币以下。

表 5 DVD 市场需求 (日本和美国)

年	数量 (×10 ⁴)		销售额 (×10 ⁸)	
		增长率 (%)		增长率 (%)
1996	5		40	
1997	215	4 300	1 930	4 825
1998	660	307	3 916	203
1999	2 235	339	7 488	191
2000	4 710	211	13 222	177
2001	6 860	146	18 823	142
2002	8 330	121	23 153	123
2003	9 350	112	25 704	111
2004	10 050	107	27 631	107
2005	10 600	105	29 113	105

资料来源: 日本电子机械工业会

国内主要看好 DVD - Video 的市场, 因为 VCD 市场开展的先驱例子, DVD - Video 播放机都兼容 VCD、CD - A 等。DVD 光盘节目开始用 LD 的原带来做, 放的效果与广播电视相同, 达 400 ~ 500 条线的清晰度, DVD - Video 光盘价格在 40 ~ 50 元人民币, 这是大家可以接受的。欧、美市场的情况就不同, 希望 DVD - Video 的功能发挥周全一些, 能够配上 700 ~ 800 条线清晰度的显示器, DVD - Video 播放机的零售价格在 400 美元左右, 光盘在 20 美元左右。DVD - Video 还面临 Dive (digital video express) 和 Digital Cable TV 的冲击, 前者的播放机约 400 ~ 500USD, 化 5 美元可以借看 2 天的节目; 后者由顾客点节目, 按节目收钱 (Pay per view)。另外, DVD - ROM 的版权保护和发行区域划分等问题比 DVD - Video 较易解决。所以, 在美国从一开始就看好 DVD - ROM, 主要配置计算机, 估计到 2000 年后有 60 % 的 CD - ROM 光盘机改为 CD - ROM / DVD - ROM 兼容的机器。那么那时 1 亿台 PC 机的配置就约需 6 000 万台 DVD - ROM, 这可能是潜力最大的大市场。最近一个保守的估计, 2000 年美国市场需求 DVD - Video 约 570 万台, DVD - ROM 约 1 670 万台 (总计 2 340 万台), 以后 DVD - ROM 的增长速度要大大超过 DVD - Video。由于存储能力的增大, DVD 使运行于 PC 上的富含视频及多媒体处理的应用程序有了量的飞跃。

只读式光盘机与光盘的配置比例, 一般称 Spindle ratio (从两者的年销售量计算)。参考 CD - A 与 CD - ROM 一般在 10 ~ 15 之间, 所以光盘的市场可以从光盘机的销售来估算, 即 1 000 万台 DVD 光盘机约 1.5 亿张光盘。对 DVD - Video 而言约需 1 000 个电影节目。

中国和亚洲市场以 DVD - Video 为主体, 今后主要以单面单层的 DVD - 5 (4.7GB) 和双面单层的 DVD - 10 (9.4GB) 为主; 欧洲和北美市场以计算机软件 DVD - ROM 为主体, 以发展单面双层 DVD - 9 (8.5GB) 和双面双层 DVD - 18 (17GB) 为主要方向。

从 CD 发展到 DVD, 有些新技术值得一提, 如双聚焦光拾取技术。该技术使 DVD 能与 CD 向下兼容, 它是一种单镜头的双聚焦合息一体化物镜, 利用全心绕射现象使激光通过镜头中心部分时为长聚焦光束, 用来读取记录较深的 CD 片上的数据; 通过外圈的激光束则聚焦成短焦距光束, 用来读取记录面较浅的 DVD 片上的数据。

注塑 DVD 盘基的要求比 CD 盘基要高得多, 重要的参数有抖动 (jitter)、盘基的平整度 (倾斜)、双折射、盘基的厚度差异等。其中, 盘基的厚度差异会引起拾取光头的聚焦偏差 (光路长度误差), 聚焦偏差会引起高的抖动。

表 6 粘结方法

工艺	DVD - 5	DVD - 9
热熔法 (hot - melt)	+	-
阳离子 UV 胶 (网板印刷) (screen printing)	+	-
间隙分配的 UV 胶 (gap dispense)	+	+
旋涂的 UV 胶 (spin - coating)	+	+
碾压 (laminating)	+	-

注: “+”表示适用; “-”表示不适用。

粘结 DVD 的两个 0.6mm 的基片有不同的方法 (见表 6)。DVD 粘结层的关键条件:一致性;正确的厚度;没有气泡;好的粘结性;与 PC 相差不太多的折射率。这些参数在 DVD-5/10 和 DVD-9 格式中的重要性会有所不同。粘结有在线和离线 2 种方法,在线法要求更严格的温度控制。

检测主要分为在线检测和离线检测。在线检测:缺陷;平整度;分离层的厚度(针对 DVD-9)。离线检测:双折射;平整度;信号检测;抖动等。

表 7 DVD 系列性能比较

性能	ROM	R		RW, RAM	
		3.95GB	4.7GB	2.6GB	4.7GB
跟踪方式	记录码跟踪	带地址码摆动 预刻槽		带地址码摆动预刻 槽	
记录波长	650/635nm	635nm,		650nm	
读出波长		635/650nm		650nm	
物镜数值	0.6	0.6		0.6	
孔径 NA		0.6		0.6	
记录方式	——	槽记录		台、槽记录	
记录功率	——	6~12mW		~15mW	
读出功率	≤10mW	≤10mW		≤10mW	
反射率(PBS)	45~85%(单层盘) 18~30%(双层盘)	45~85%		18~30%	
道间距	0.74μm	0.8μm		0.74μm	0.59μm
最小刻录	0.40μm(单层盘)	0.44μm, 0.293μm		0.41~	0.28~
点长度	0.44μm(双层盘)			0.43μm	0.3μm
调制方式	8/16RLL	8/16RLL(2,10)		8/16RLL	
通道位速度	26.6Mb/s	26.16Mb/s		26.16Mb/s	
扫描速度	3.49m/s(单层盘) 3.84m/s(双层盘)	3.84m/s		3.84m/s	
使用数据容量	4.7GB/面	3.95GB	4.7GB/面	2.6GB/面	4.7GB/面
扇区长度、扇区分配	2048B, CLV	2048B, ZCLV		2048B, ZCLV	
读稳定性	——	>10 ⁶ 次		>10 ⁵ 次	
擦写次数	——	——		——	
抖动(jitter)	≤8%	≤9%			
角偏差α 径向	0.80°max	±0.80°			
切向	0.30°max	±0.30°			
双折射	100nm(max)	100nm(max)			
纠错方式	Reed-Solomon	Reed-Solomon		Reed-Solomon	
调幅 I ₄ /I _{4H} I ₁ /I ₄	≥0.60				
	≥0.15(单层面)	≥0.60			
	≥0.20(双层面)	≥0.15			

(2) DVD-R 和 DVD-RW(RAM)

高密度可记录 (DVD-R) 和可擦重写 (DVD-RW/ RAM) 光盘存储的出现扩大了光盘存储技术的应用范围,代替了软磁盘 (FDD) 和磁带 (Tape) 在交换、出版、分配、演示、记录、存档等方面的应用。与 DVD-ROM 比较, DVD-R 和 DVD-RW(RAM) 的性能如表 7 所示。虽然目前已有 DVD-R 的光盘和光盘机 (如 Pioneer 产品), 以及 DVD-RAM 的光盘和光盘机 (如 Panasonic 的产品) 出现, 但主要为演示性质的。DVD-R 的容量为 3.95GB (将提高到 4.7GB), 而 DVD-RAM 单面为 2.6GB (将提高到 4.7GB), 双面为 5.2GB。目前还没有 DVD 系列的统

一制式。以可擦写的 DVD 为例, Matsushita 和 Hitachi 称 DVD-RAM, 正在推出每面 4.7GB 的制式, Philips 和 Sony 称 DVD+RW, 而 Pioneer 称 DVD-RW。这 3 种可擦重写 DVD 格式目前互不兼容, 所以一定要统一格式和标准。人们估计在 21 世纪将是可擦写 DVD 的高潮, 到 2005 年以后计算机内置式的 DVD-ROM 将由 DVD-RW(RAM) 所替代。另一个很大的市场为用在网络的下载 (download) 存储。这就是为什么世界各大电子公司的研究与开发部门集中力量在努力进行可擦重写 DVD 的开发研究。

随着各类光盘产品的市场发展, 生产规模扩大, 从而使成本和销售价格下降, 再进一步促进市场的发展。光盘产品价格变化的预测是十分重要的, 表 8 列举了几类新的光盘的出厂批发价格 (OEM) 的变化。

表 8 光盘价格 (USD) 预测 (OEM)

CD-R	CD-RW	DVD-ROM	DVD-R	DVD-RAM
4→0.5 (1997→2000)	8→2 (1997→2000)	4→2 (不包括节目) (1997→2000)	8→3 (1998→2002)	30→10 (1998→2002)

DVD-R 的寻址跟踪方式是由里向外的带地址码的摆动预刻槽。槽是摆动 (Wobble) 槽, 所有的使用数据 (user data) 都只记录在槽里; 台上有地址码 (embossed pre-pit), 所有的寻址数据 (addressing data) 都只在台上, 地址码的分布有一定的格式。摆动槽和台上地址码都对 DVD-R 的记录有其独特的贡献。Wobble 摆动槽是完全持续的波形, 容易被跟踪伺服, 用它代替的绝对时间概念对台上地址码提供了精确的读时钟, 对伺服系统提供了精确的控制时钟; 台上地址码对射频信号没有影响, 定位精确, 误码率低。两者结合实现了精确可靠的基准时间的控制。

DVD-RAM (Panasonic/ Toshiba 产品) 记录格式的特点是槽内和台上都记录使用数据的信息。记录和读出光束沿着一条螺旋轨道, 一圈跟踪摆动槽, 下一圈跟踪台, 交替进行。同步、地址和其他必要的预格式信息均位于槽和台的交接处, 该区域不分槽和台, 仅有代表预格式信息的凹坑。但是, 该光盘较难实现在 DVD-ROM 的驱动器上读出信息。

而 Philips 和 Sony 公司提出的 DVD+RW 光盘采用 DVD-ROM 的信息记录格式, 容易实现在 DVD-ROM 的驱动器上读出信息。该光盘采用与 CD-R 相似的摆动槽结构, 只是一部分摆动槽具有较大的摆动幅度和较高的偏差频率。存储容量为 3.7GB 或 4.7GB, 记录激光波长为 650nm, CAV 摆动槽记录轨道间距 0.8μm, 纠错系统是 (2,10) RLL。

3. 磁光盘存储

磁光盘存储技术以往一直以计算机专业应用为主, 因此光盘的尺寸规格与磁盘一致, 即主要为 5.24 英寸和 3.5 英寸 2 种。由于多功能 CD 和 DVD 系列的光盘技术的兴起, 磁光盘的市场发展不快,

不少公司转产。目前以日本为主生产和研发,市场以日本和北美为主。富士通公司坚持开发 3.5 英寸磁光盘机,价格下降,市场发展还不错。1997 年全球销售磁光盘机 120 万台,1998 年预计约 200~250 万台,其中 3.5 英寸磁光盘机占 70% (主要为 640MB)。1998 年以后,3.5 英寸磁光盘将以 1.3GB 为主。

磁光存储与磁存储相似,写入与擦除是使磁畴的方向颠倒,是物理过程,响应时间是快的(纳秒量级)。因此在可擦重写光盘存储中有其优越性。近几年来解决了直接重写技术和磁超分辨率检测技术,在可擦重写高密度光盘存储中仍有其优越性,表 9 列举了磁光存储技术的发展进程。可以预测,在 21 世纪初高密度磁光盘与 DVD-ROM(RAM)产品将会同时进入市场。超高密度光盘存储技术可能用磁光存储方式更为现实。

表 9 磁光存储技术的发展进程						
时间	产品	存储容量	数据传输率(MB/s)	价格(美元)	产量(万台)	
1998年	富士通3.5"	640MB	2.2	500	100	780nm激光
	索尼5.25"	2.6GB	4	2 000	0.3	存取时间 < 25ms
	三菱化学5.25"	4.6GB		1 300		780nm激光
2001年	5.25"	14GB				LG记录MAM MOS630nm激光,摆动槽
2003年	5.25"	36GB				430nm激光, SIL

这几年磁光盘存储在消费领域中最瞩目的发展为 MD(minidisk)光盘,它是 2.5 英寸(64mm)的磁光盘应用在音频存储上,一个存储面可以播放 74 分钟数字立体声音乐。虽然它于 1992 年由 Sony 公司开发出来,但由于播放机的价格较贵(400~500 美元),没有很快推广。1999 年以来由于价格下降了 1 倍多,因此在日本已经向市场推开,1999 年销售 500 万台光盘机,超过 1 亿 MD 光盘片。今后看好 MD 市场,MD 可以代替手提式(如 walkman)磁带录音机,也可以用在数字相机上,高密度的 MD 将有广阔的应用前景。

4 HD- DVD 光盘

超高密度光盘(HD-DVD)存储技术的目标是存储密度达到 10~20Gb/in²,最小记录点尺寸小于

200nm,接近或小于光衍射极限。可采取的措施有:缩短记录激光波长(GaN 激光器);增大物镜的数值孔径;超分辨率检测技术,如光学超分辨率技术、磁致超分辨率技术、热虹食技术;缩短道间距;改进存储格式(ZCLV、ZCAV、S9)、编码方式(标记边缘记录)和记录/读出方式(槽脊和槽沟同时记录)。HD-DVD 光盘的主要性能指标见表 10。

表 10 HD- DVD 光盘(120mm)的主要性能指标	
容量	20GB(15GB)
激光波长	410nm
物镜的数值孔径(NA)	0.85
存储密度	12.6Gb/in ² (10.5Gb/in ²)
可擦写次数	10 ⁵ (抖动jitter < 10%)
数据传输率	50Mb/s
最小记录点长度	< 200nm(250nm)
道间距	< 400nm(450nm)

要实现超高密度存储,获得符合要求的材料是关键之一。超高密度光盘的材料有这样一些要求:其光学常数适用于蓝绿光范围存储,有清晰和稳定的亚微米范围的记录点,能建立适用于光学超分辨率技术记录和读出的多层膜结构,能快速响应,记录/擦除时间小于 200 纳秒,长寿命,记录信息的保存时间可大于 10 年。

综上所述,当我们进入 21 世纪时,在信息存储领域中 3 种主要的存储手段,即半导体存储芯片、磁盘和光盘,将分别在随机内存、联机(in-line)外存和脱机(off-line)外存上发挥其各自的作用;几种主要存储方式在存储密度上的发展进程,基本上是相匹配的;几种主要的磁盘驱动器、光盘驱动器和几种光盘均将呈现出足够快的增长趋向。

参考文献

[1] 干福熹. 光盘存储技术,产品和市场的发展. 曲阜师范大学学报,1996(1),1996(2)
[2] 干福熹. 发展高密度光存储技术. 世界科技研究和发展,1996(1)
[3] 干福熹. 高密度多用光盘(DVD)的发展. 世界科技研究和发展,1997(1)
[4] 干福熹. 新型光存储材料、器件和技术. 科学前沿和未来,张焘主编. 1996,科学出版社,125~158
[5] 干福熹等编著. 数字光盘存储技术. 1998,科学出版社,277~316

(责任编辑 王宏章)

(上接第 34 页)

[1] 束龙仓. 城市地下水开采可持续性的风险分析. 河海大学博士后研究报告,1998
[2] W. J. Petak, A. A. Atkisson, 向立云,程晓陶等译. 金泰来校. 自然灾害网险评价与减灾政策,地震出版社,1993
[3] D. J. Varnes. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. UNESCO, Paris, 1984, 63
[4] H. H. Einstein, Special lecture: Landslide risk assessment procedure. Pro. Fifth Int. Symp on Landslides, Lausann,

Switzerland, 1988: 1075 - 1090
[5] R. Fell, Landslide risk assessment and acceptable risk, Canadian Geotechnical Journal, 1994, 31(2): 261 - 272
[6] 陈新民. 黄河下游悬河稳定性的环境岩土工程分析与评价. 南京大学博士学位论文, 1998
[7] 陆中臣, 贾亚非, 曹银真等. 试论黄河下游北岸可能决口地段及其最大淹没范围. 地理研究, 1987, 6(4): 15 - 25

(责任编辑 王宏章)