

跨世纪的信息存储

The Trans-century Information Memory

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

一、信息存储市场将成为下世纪信息领域的主要市场

众所周知, 冷战结束后, 发达国家对世界争夺的重心已经转移到信息领域。由于信息高速公路具有军民兼容、深度军备和国家利益等特征和倍增国力的功能, 当前发达国家及一些发展中国家都先后制定了本国“信息高速公路”计划, 不仅全面规划本国国家利益在信息领域的发展方向, 还特别具体规定了本世纪末和 21 世纪初所要达到的目标。根据预测, 全球的信息量今后几年会以更快的速度增长 (见图 1)。当前信息的发展以多媒体化和数字化为主要特征。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, 而且要获得活动图像和高清晰的图像。信息的数字化中, 信息以字节表示其容量。如表 1 所示, 一页 A4 文件为 2KB(千字节), 一张 A4 黑白照片为 40KB, 而一张 A4 彩色照片就占 5MB(兆字节)。放一分钟 VHS 质量的全活动图像(Full Motion Video FMV)要 10MB, 而放一分钟广播级的 FMV 就要占 40MB, 因此信息量与日俱增。信息数字化的主要应用领域在移动通信网(GSM)、数字视频广播(DVB)、数字电视(DTV)和数字多用光盘(DVD)等。以数字视频技术为例, 与信息模拟技术相比较, 它具有图像质量高(抗干扰、抗噪声、抗亮度与色度的干扰)、传输速度快(所需频率资源少)、处理方便(可用芯片软件)以及容易网络化等优点。

表 1 信息多媒体化

Test 文本 (A4)	graphic 图	image 照片	audio 音频	FMV 视频
2KB	8KB	40KB (黑白) 5MB (彩色)	1MB (1min. Plaza) 10MB (1min. HiFi)	10MB (1min VHS 录像) 40MB (1min 广播电视)

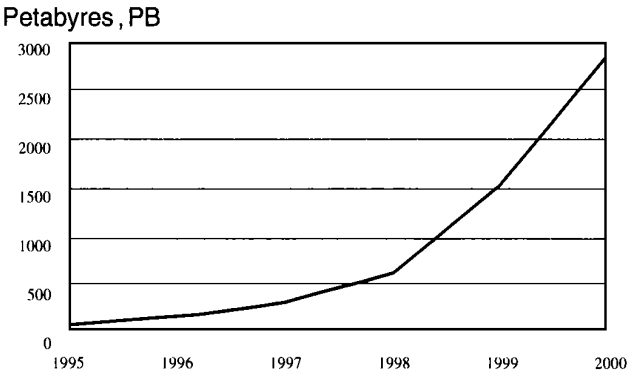


图 1 预测全球信息量增长趋势

在信息技术的几个环节(获取、传输、存储、显示、处理)中, 信息存储是关键。80 年代到 90 年代, 人们最关心的是信息处理, 即如何提高计算机芯片的处理速度和效率, 全球掀起了计算机主处理器(CPU)大战; 90 年代后期通讯网络勃兴, 大家可以共享数据和通讯, 有人讲“网络就是计算机”; 进入 21 世纪, 人们要考虑如何有效地存储和管理越来越多的数据和如何应用这些数据, 信息存储空间日益拥挤, 信息数据的采集和数据管理体系的复杂性越来越高, 随着网络的普及, Internet/ intranet/ extranet 将普遍进入单位和个人。21 世纪信息技术的浪潮将在存储领域兴起。就以目前的计算机系统来讲, 外部设备的价格就已超过主机。目前全球包括计算机系统、软件、网络以及家用和服务等领域的信息存储市场已达 700 多亿美元, 下世纪初将超过 1 000 亿美元, 成为信息领域的主要市场。

二、信息存储的要求和方式

数字化信息存储的要求为: 高存储密度、高数据传输率、高存储寿命、高的擦写次数、低价格设备投资和低价格信息位。

以计算机系统存储为例, 存储方式分为: 随机

内存储、在线外存储、离线外存储和脱机存储,如图2所示。

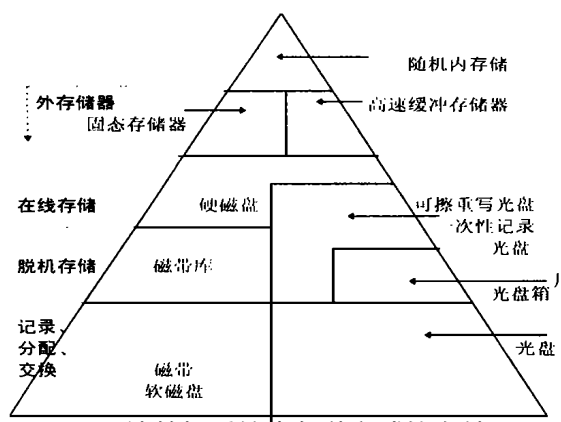


图2 计算机系统中各种方式的存储器

随机内存存储器要求集成度高、数据速度快,一直以大规模集成的微电子技术为基础的半导体动态随机存储器(DRAM)为主。随着大规模集成度的提高,光刻线度的不断缩小,存储容量也不断提高(见表2)。大规模集成电路是以硅工艺为基础的,为突破线度的极限,硅工艺近年来作了很大的改进。DRAM芯片的价值也大幅度下降,256MB的DRAM芯片已开始大规模生产,用多块内存芯片的联接,使内存扩容至1GB也已开始实用化,所以PC的内存(64MB的DRAM约10美元)会更大。但随之而来的带宽瓶颈问题就更为突出。因此发展了各种内存技术,如时钟同步(Synchronize) SDRAM、芯片对接口(Rambus) RDRAM等。

表2 半导体动态随机存储(DRAM)

时间	目前	1999 年	2000 年	2005 年	2014 年
容量	64M~128M	256M	1~4G	10~20G	256G
光刻	0.3~0.2μm	0.18μm	0.15μm	0.1μm	0.010μm

最近发展的固体(闪) 存储器(flash memory) 是不挥发可擦写的存储器,基于半导体二极管的集成线路,比较紧凑和坚固,可以在内存与外存间插入使用,它的缺点是存储量小和价格高。目前正从闪存存储芯片的结构、操作和组装上改进,以增加存储密度,例如目前可以在38mm×33mm×33mm尺寸的闪存卡上存储64MB,并且60片闪存芯片可以连接起来。

在现代数字数据外存储中磁存储技术早已先入为主,磁带、软磁盘和硬磁盘已普遍应用,形成了巨大的产业,而磁存储技术近年来仍然很迅速地发展着。

光存储最早的形式为缩微照相,从本世纪初开始,经历了较长的时间,成为文档资料长期保存的主要形式。60年代初激光出现后,激光全息技术受

人注目,因为它能实现三维图像存储,具有更大的存储容量。但是,由于不能进行实时数据存取,和计算机也不能联机,因此不能与磁存储相比。光盘存储技术是本世纪70年代开拓出来的。光盘存储技术发展到80年代,便在视听领域内促成了激光唱片(包括声响唱片CD和激光视盘LD)和激光唱机产业的兴起。发展之迅速,出乎人们的预料。

与磁存储技术相比,光盘存储技术具有以下特点:(1)存储寿命长。只要光盘存储介质稳定,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。(2)非接触式读/写和擦。目前光盘机中光头与光盘间约有1~2mm的距离,光头不会磨损或划伤盘面,因此光盘可以自由更换。而高密度的磁盘机,由于磁头飞行高度(几个微米)的限制,较难更换磁盘。(3)信息的载噪比(CNR)高。光盘的载噪比可达到50dB以上,而且经多次读写不降低。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。(4)信息位的价格低。由于光盘存储密度高,而且只读式光盘(如CD或LV唱片)可以大量复制,它的信息价格是磁记录的几十分之一。

光盘存储技术当然目前还有它的不足之处,如光盘机(或称驱动器)比磁带机或磁盘驱动器要复杂一些,因此价格目前还较贵。光盘机的信息或数据传输速率目前比磁盘机低。平均数据存取时间在20~100ms之间。表3列举了光盘存储和磁存储的一些性能比较。

表3 光存储与磁存储比较

光 盘	硬磁盘	磁 带
中等性能	高性能	中等性能
0.25~2Gb/in ² , 25Mb/s	2~4Gb/in ² , 150Mb/s	0.8~1Gb/in ² , 40Mb/s
随机存取	随机存取	序列存取
高容量	高容量	高容量
低价格	价格合理	低价格
(DVD-ROM 0.001USD/MB)	(0.1USD/MB)	(0.006USD/MB)
CD-ROM 0.002USD/MB		
CD-R 0.008USD/MB		
CD-RW 0.03USD/MB		
可移动		
长寿命		

可以预测,今后10年内磁存储和光盘存储仍为高密度信息外存储的主要手段。今后高性能的硬盘(1GB/in², 100MB/s)主要为计算机联机在线存储,以计算机专业用为主。高性能光盘(0.5GB/in², 10MB/s)为脱机可卸式海量存储和信息分配存储,

以消费用为主。

根据内存储和外存储以及联机和脱机存储的关系,预计今后10年中半导体随机内存、硬磁盘和光盘存储技术的发展和相互匹配如表4所示。

表4 今后 DRAW、HD、OD 的发展和相互关系			
DRAW	16 ~ 64 M	1 ~ 2G	10G
HD	2 ~ 6 G	10 ~ 20 G	100G
OD	4.7G × 10	10G × 10	100G × 10

三、磁存储

磁存储仍然是目前信息存储的主要方式,进入下世纪,磁记录介质和驱动器的全世界年总产值将达1000亿美元。目前,磁存储介质的主要形式为磁带、软磁盘和硬盘。磁存储介质的存储密度在近20年中有飞快的发展,差不多每5年增加10倍。表5表示磁带机的容量和数据率的进展。

表5 磁带机的容量与数据率				
时间	1996 年	1998 年	1999 年	2000 年
型号	Seagate DDS- 2	Sea hate DDS- 3	Exabyte Mammoth	Exabyte Seagate
容量(GB)	8	12	70	200
数据率(Mb/ s)	40	88	100	160

磁存储密度的提高主要依赖于磁介质材料的改进。在70年代主要应用磁性氧化物(如氧化铁等),在塑料薄膜和金属薄片上用涂布的方法制成磁带和磁盘,存储密度比较低,每平方英寸只有几兆位(Mb),以后改进了磁性氧化物的磁矫顽力,采用超细磁性氧化物粉末,以及应用薄膜氧化物磁头,使存储密度有所提高,80年代达到每平方英寸几十兆位的水平(这也是目前一般软磁盘和磁带的水平)。90年代后硬磁盘存储密度的提高主要采用了连续磁性薄膜介质,用磁控溅射的方法制备薄膜,因此减小了颗粒间界面,主要采用的磁性合金为CoCrPt, CoCrTa等,磁存储的位密度有很大的提高(10⁶b/ in)。同时采用薄膜磁头,减小磁头和磁盘的距离,从而增加了道密度(~10⁴道/in)。为了进一步提高硬磁盘的存储密度(1Gb/in²),就要探索高矫顽力(3000Oe)的连续纵向纳米晶粒磁性介质。为了减小记录和读出噪音,采用纳米晶粒,由此也带来了热稳定性问题。同时,如果要想实现磁垂直存储,就要求磁性介质具有高的磁各向异性(ku4 × 10⁶erg/cm³)。为解决上述一系列问题,最近已开

发了CoSm或Fe/ Pt多层膜。

磁头的改进也需要新的磁性材料。写入头要求更高的磁矩而读出头要求高的磁电阻。因此,巨磁阻效应的研究对发展磁存储就有重要的意义。Fe/ Cr和Co/ Cu多层膜的室温R/R值分别为25%和70%(其中R为零磁场的电阻值,R为零场和加场时的电阻差值),但是要求的外加磁场高(分别为25和10KOe),限制了实际应用。最近发现La- Ca- Mn- O薄膜在低温(77K)时具有超巨大磁阻(R/R~99%,60KOe),还有NiFe/ Cu/ NiFe/ FeMn多层膜,虽然巨磁阻效应不太大,但外加磁场较小。具有应用前景。

目前在磁纵向存储下,道密度不能太高。为增加道密度,目前采用光学方法来进行伺服道跟踪(和光盘存储方式一样),称为光技术辅助的温盘机(OAW),即基片上预刻录伺服槽,用光学方法伺服跟踪。由此,使存储密度提高了2~4倍,并且增大了磁头与盘片的距离。它的缺点是由于增加了光头,使机械运动变缓,增加了寻址和存取时间。

四、光存储

光存储的发展趋势是提高存储密度和提高数据传输率。近年来,各国光存储领域的研究人员为此展开了激烈的竞争。有关高密高速光存储的新思想、新概念和新理论不断涌现,各种新材料、新器件和新技术也竞相问世。

跨世纪的光存储在以下两个方面发展。

1. 高密度光盘信息存储

光盘存储密度和各类光盘的发展见表6。以往10多年光盘产品主要以CD系列光盘为代表,应用800nm波长的激光来记录和读出波长,5英寸直径光盘的信息存储容量为650MB,人们已经熟知和广泛应用的是只读式CD,如CD- ROM、VCD、CD- A等已形成了巨大的产业。目前已有产品的可录式CD(CD- R)正在代替软磁盘作复印(copy)节目和软件。可擦写式CD(CD- RW)正在兴起,它可能代替磁带用作信息的外存、编辑和分配等。

利用目前已开发的新的刻录技术和红光半导体激光器(650nm和630nm)缩小记录点及其间距,可把现有光盘的记录密度提高5~10倍。最近2年就可能开发出高密度CD光盘系列,目前称DVD(数字多用光盘)光盘系列。单面单层5英寸光盘的存储容量可达4.7GB,双层和双面双层光盘可分别达9GB和18GB。目前已在推广应用只读式DVD(如DVD- ROM、DVD- Vedio等)。可录式和可擦写式(或随机存储式)DVD(DVD- R和DVD- RW)正在开发之中。关键还在于存储介质和存取方式。

表 6 光盘存储密度的提高

产品时间	型号	激光波长 (nm)	ø5 单面 GB	存储密度 GB/in ²	产品发展和应用
目前	CD 系列	780	0.6	0.03	CD- ROM→ CD- R→ CD- RW
1998 ~ 2000	DVD 系列	650	4.7	0.235	DVD- ROM→ DVD- R→ DVD- RAM(RW)
2000 ~ 2003	HD- DVD 系列	500	20	1	HD- DVD- R→ HD- DVD- RAM
2003 ~ 2005	—	400	40	2	
2010	近场光存储全息光存储	500		10	

发展蓝绿光(500nm 附近) 波长范围的新型短波长材料和器件, 采用超分辨记录和探测技术, 可将各类光盘的记录密度提高 20 倍左右。预期在 5 年内单面单层 5 英寸光盘的容量可达到 10GB(蓝绿光) 的水平。这方面目前各国都在研究开发, 希望下世纪初(~ 2005 年) 能实用化, 称之为高密度 DVD(HD- DVD) 或超高密度光盘存储技术, 其目标和措施见表 7。

表 7 超高密度光盘 (HD- DVD) 存储技术的目标和措施

目标	存储密度	10 ~ 20 Gb/in ²
	最小记录尺寸	200nm 接近或小于光衍射极限
措施	· 缩短记录激光波长和记录点尺寸 短波长 GaN 激光器; 波长 400 ~ 450nm 高数值孔径物镜: N. A. 0.65 ~ 1.0 短波长多层膜结构存储介质 · 超分辨率检测(Super- resolution) · 光学超分辨率技术 · 热虹食(Iris thermal eclipse) 技术 · 磁致超分辨率技术 · 缩短道间距: 300 ~ 400nm · 改进存储格式, 编码和记录/读出方式 · 改进存储格式: ZCAV、ZCLV、SS 编码方式: 标记边缘记录 记录方式: 槽脊和槽沟同时记录	

这种缩短即使从目前的红外光转换到紫外(目前只能到蓝光), 也只是几倍的关系。因此, 必须打破光的衍射极限的限制, 从光的远场记录发展到近场记录是超高密度光存储技术的主要途径。

80 年代发展起来的扫描微探针技术给超高密度光存储带来了全新的概念和实现的可能。利用扫描微探针显微技术(PSM) 进行超高密度信息存储, 国外已有许多成功的报道。记录畴尺寸可以小于 50nm, 存储密度可达 100Gb/in²。

但是采用扫描探针技术, 探针的移动速度很慢, 扫描的范围很窄, 很难获得实用化。最近在近场光学镜头和扫描机构上有重要的革新。首先采用高折射的浸沉透镜, 制成数值孔径(N. A.) 大于 2 的近场物镜, 同时采用气浮移动磁头的机构, 做成气浮移动的光头。这种近场光学系统也已在超高密度的光辅助的硬磁盘机上应用。

(2) 全息光存储

全息存储技术近年来有了复兴, 即向图像数字化方向发展。全息数据存储是用改变激光束波长或入射角度读出的, 这种方法可使数据传输率超过 125MB/ s。信息写入速度也较快, 因为它是使整组数据一次记录到某处的, 而不像光盘需要移动, 一次记录一比特。因此, 这种技术具有可并行传输和处理的速度以及高的存储密度。最近有实验报道在 8 个位置上每个都记录了 500 个左右的全息图, 目标是使存储器容量达到千兆位量级。

但是全息存储材料问题还是当前的关键。为使全息存储变成有效技术, 介质必须有很高的数据保存率而且没有缺陷。为了获得可擦重写(或随机存储) 全息存储的目的, 最关键的是探测快速响应的全息存储介质, 写入、读出和擦除的响应时间短于微秒(μs)。正在探索有机、无机晶体和玻璃材料, 目前集中在有机聚合物、折变晶体和电子俘获材料。

(3) 光子多维存储

存储材料中的激活中心, 在光激发下使电子产生跃迁而达到光存储的目的, 称光子存储(photon - induced optical memory)。它不同于材料吸收光子后热响应引起的光存储, 区别于目前一般应用的光存储方式。

为了增加光存储密度, 在 80 年代中期曾有人

2. 超高密度光信息存储

光存储技术的发展趋向为: 由远场光存储到近场光存储; 由二维光存储到多维光存储; 由光热存储到光子存储。

(1) 近场光存储

目前的各种光盘驱动器均以包含物镜的光学头进行读或写, 并完成聚焦与轨迹跟踪伺服控制。由于物镜离介质较远(毫米级), 故称为远场记录。如上所述, 虽然在未来的几年中, 采用短波长激光器和超分辨(SRC) 等技术, 光盘记录密度还会有数十倍的提高, 然而, 由于物镜所聚焦的光斑尺度受波长制约, 进一步缩小的期望只在于波长的缩短。

提出了把频率作为附加的存储因素,用光谱烧孔(Spectral hole burning)的方法,在同一空间的光斑上可将存储密度提高千倍以上。

光子存储的另一种方式为双光子三维存储。双光束以 90° 相交移动,实现三维存储。双光子的激发过程十分类似上述“光谱烧孔”。因为是电子跃迁过程,所以记录的速度应该是快的。存储介质可用不同方法做成多层薄膜。光子存储材料的记录时间应在纳秒(ns),记录功率也应该是低的($\sim \text{nJ}/\text{cm}^2$)。要使这些光子存储材料实用化,必须解决工作温度低、存储寿命短及存取循环过程中抗疲劳性差等问题。

五、信息存储中数据传输速率

在今后海量数据信息存储中,信息的存入与取出速率要求越来越高。半导体内存储器的数据存取时间希望从微秒降至纳秒量级,而外存储器的数据存取时间能从毫秒降至微秒量级。

磁记录存储是一个物理过程,磁畴形成和消失的时间在纳秒(ns)以内,是足够快的,信息存取的速率决定于驱动器的机械和电子系统,如最近硬盘机采用动态轴马达(FDBM)使电机转速提高到 10 000 r. p. m. 以上,使数据传输率达 500 Mb/s 以上。

与磁存储技术相比较,光盘存储技术存在着数据传输率偏低的缺点。目前最先进的可擦重写光盘驱动器的数据存取时间也在 20ms 以上。它主要受到光头重量太大、光盘转速较低,以及目前商品的擦重写光盘驱动器还不能直接重写等限制。提高光盘存储的数据传输率技术的主要方向为减轻光头重量、简化结构,使光头实现光电集成化;借用磁头飞行技术采用薄膜飞行光头;实现可擦重写过程中的直接重写技术;提高光盘驱动器的转速和光盘的写、擦的响应时间;改进数据编码和信号处理;采用多光头记录和读出等,从而使光存储的数据传输速率达到 100 Mb/s。

参考文献

- [1] 干福熹,光电子技术和产业的发展,周光召、朱光亚主编,共同走向科学,新华出版社,北京,1996,364~375
- [2] Strasser, G., 'Storage Media, What's ahead', Layer, 1996(2)
- [3] 王荫君,信息存储的现状和未来发展,物理学进展,1997(17): 150~158
- [4] 干福熹,新型光存储材料、器件和技术,张焘主编,科学前沿与未来,科学出版社,北京,1996,125
- [5] 干福熹,光子学的发展对当代信息技术的影响,中国科学院院刊,1998(4): 268~271。
- [6] 干福熹,光子学材料及其发展,材料科学与工程,1998,16(2): 1~8 (责任编辑 王宏章)

科技动态

国家自然科学基金重大项目“生命科学中的电化学分析和分子光谱分析”取得一系列首创性成果

1993 年启动的国家自然科学基金重大项目“生命科学中的电化学分析和分子光谱分析”以电化学和分子光谱方法为主,对与生命科学相关的基础理论进行了较深入的研究,创建了一批与生命科学有关的测试新方法、新技术,突破了一些分析疑难问题,取得了许多首创性的成果。

1. 在生物活性物质的分子光谱分析研究方面 对生物大分子(蛋白质、核酸)的光谱探针与生物大分子的结合机理进行了较深入的研究,首次将光散射技术应用于生物大分子分析。研制成功多种药物、激素和毒剂的多克隆或单克隆抗体,有些为国际上首次制得,建立了这些化合物的新型时间分辨荧光免疫分析方法;提出了几种对 DNA 可以进行高灵敏、高选择性结构表征或定量测定的发光探针体系。

2. 在生物活性物质的电化学分析研究方面 用分子设计构造的仿生界面打开了多种蛋白质封闭的电话

性中心,建立了这类物质的直接电化学分析法;通过分子自组装、衍生、电聚和掺杂,研制成近 30 种性能精良的修饰电极及具有分子识别功能的分子“开关”器件,并由此建立了一系列相应的高灵敏、高选择的生物分子电化学分析法。用等离子刻蚀技术制成尖端直径可小至 30 纳米的超微柱电极(这是目前已见文献报道的最小电极尖端),继而制成超微盘电极,用于单个细胞内神经递质多巴胺的动态测定获得成功。在免疫分析中引入用金属离子代替天然酶作底物催化剂的新概念,提出了一系列用金属离子、非放射性多碘化合物和敏化红细胞标记并偶合催化放大作用的电化学免疫分析新技术。

3. 在生物膜功能的电化学模拟研究方面 首次将拓扑指数法引入液-液界面研究中,提出了一种新的制备支撑双层磷脂膜的方法——涂抹冷冻法,此法简便易行,制备的膜稳定性好、寿命长以及膜中不含有机溶剂,

(下转第 10 页)