

光带——极具竞争力的大容量存储技术

陈鸣九² 吴凤霞¹ 洪健军¹

(¹ 上海科学技术情报研究所, 上海 200031)
(² 浦东软件园, 上海 201203)

1 引言

在大容量离线存储领域,人们比较熟悉的是大容量磁带存储技术和大容量光盘存储技术,这些领域由于 Sony、HP、IBM 等跨国公司的介入,不仅产品得以在市场上畅销,而且技术上不断更新。但该领域还有一项技术,似乎还没有得到人们充分的重视,它就是光带技术。光带是一个兼具磁带物理结构和光盘读写机理的高新技术,其发展可谓一波三折:先是在 20 世纪 80 年代中期辉煌一时,后因技术上遇到困难被人冷落;在 90 年代后期,由于关键技术取得突破,又开始显示出蓬勃生机。不过,在发展过程中,美国政府一直对这一高新技术给予了强大的财政支持,美国产业界也一直在积极参与。今天,虽然我们还不能说光带技术已是大容量离线存储技术的主流,但它显示出的优异性能和较高性价比已充分表明其极具竞争力的发展潜力。

2 基本原理^[1,2]

光带是一种将数据信息存储在条形介质带上的光存储器件,它结合了光盘和磁带这两种目前最流行的存储技术的优点,兼有光盘高密度的特点和磁带总存储容量可以做得很大的优点。由于光带存储容量大,数据传输速率快,信息存取时间短,系统成本低,使用寿

命长(大于 100 年),因此它是目前发达国家,特别是美国正在积极开发的数字数据存储技术之一。

2.1 基本结构

光带系统的基本结构如图 1 所示。在一个盒形的框架内主要包括二大部分,一部分是作为信息载体的存储介质带及其传送转动机构,另一部分是数据存取读写机构,也可以认为它们分别是信息存储介质(Media)和驱动器(Drive)。

从图 1 可以看出,存储介质带与光学头是非接触的,在早期设计

的光带装置中,带的背面紧靠在滚轮上,最近已改用空气轴承来支撑。带的基质材料为聚酯薄膜,上面溅镀一层特殊配方的非晶态光记录介质(相变材料),在这层相变材料上面还涂覆了一层氧化硅保护膜,其厚度与入射光波长匹配。光带在运行时置于完全密封的,并处于空气过滤的洁净空间中。

如图 2 所示,光带一般有以下七大主要部件:

1) 激光器 目前使用 532nm 绿色激光,光功率 400mW;

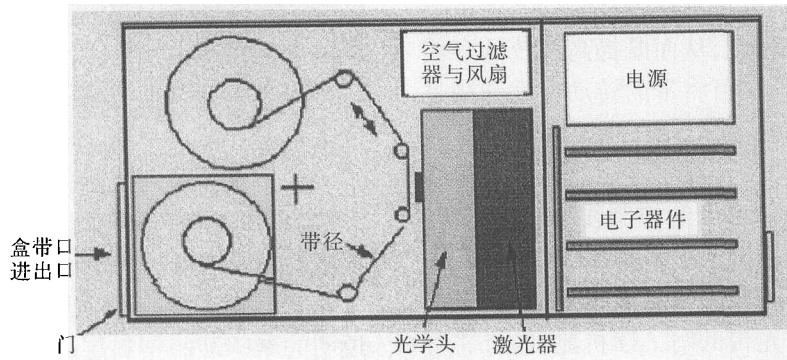


图 1 光带的基本结构示意图

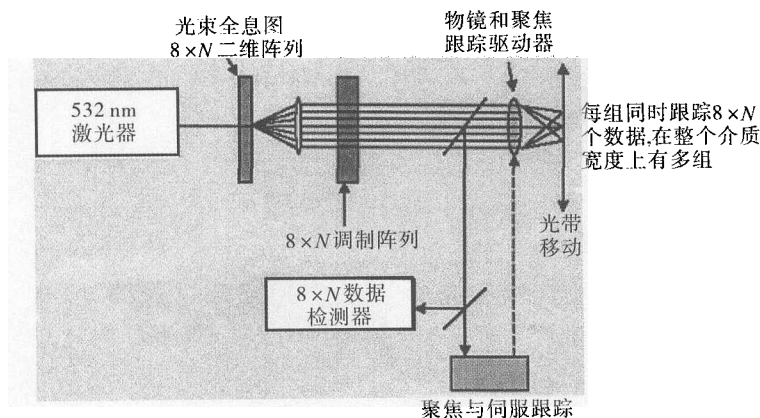


图 2 光带组成部件示意图

收稿日期:2002-11-29;收到修改稿日期:2002-12-10

2) 全息分束器 把一束波长 532nm 的衍射极限输入光分成 64 束相同的 8×8 (或 $8 \times N$) 二维读写光束阵列;

3) 调制器 对 64 束中的每一写入光束, 根据所要求的比特 (bit) 写入速率独立地进行调制, 对于数据传输速率要求达到 100MB/s (MB 为百万字节) 的系统来说, 调制器的脉冲升降时间应低于 10ns, 调制速率为 20MHz;

4) 聚焦和跟踪装置 使光束稳定持续地聚焦在移动的带介质上, 并以亚微米的精度跟踪已写入的数据轨道;

5) 检测器 由多个元器件组成的检测器阵列, 与介质带上的光斑排列格式一致;

6) 读/写数据的编码解码系统 每一读/写光束及其相关联的检测器元件都形成一个与读/写过程相应的数据通道。对数据进行编码, 则可提高比特在每一条轨道上的线密度, 从而既提高系统的存储容量, 又可将带的转动速度和激光器的功率降到最小程度;

7) 光带的传送机构 将带的传送速率大约控制在 10m/s 左右, 最小不得低于 8m/s。

2.2 光带的信息存取(写/读)机制

光带的写/读机制如图 3 所

示, 在原理上类似 CD、VCD、DVD 光盘所用的技术 (图 3), 所不同的是光学头的设计和特殊配方的非晶态相变介质。

信息的写入过程如下: 当激光源发射出的高强度写入光束经透镜会聚在非晶介质层面上, 形成一个与入射光波长相当的衍射极限光斑。该光斑处的介质材料在吸收了光能量后即融化, 并在写入光束关闭后迅速冷却结晶。结晶化的冷却斑点 (直径约 $0.5\mu\text{m}$) 处的反射强度比周围未经照射区域的大一倍。这样, 要存储的数据信息通过调制后的入射光束在相变介质层上产生一系列格式化的记录花样。在读出时, 光源发射强度比写入光束低得多的连续光束, 对已写入的光斑轨道进行扫描, 检测器根据反射光强度花样的变化, 经解调后取出信息。

3 光带的发展概况

3.1 发展历程

光带的优异性能很早就吸引了人们的注意。早在 1942 年就有了关于记录光膜的演示报道, 这种光膜在 1960~1965 年期间曾达到很高的记录密度。70 年代初期, 科学家将光膜进行改进, 把它密封在透明的聚碳酸酯塑料层中, 并嵌入

塑料信用卡内做成光卡。为了记录数据, 这种光卡采用了类似 CD-ROM 的技术。那时在一片 $13\text{mm} \times 76\text{mm}$ 的光膜上能存储大约 1.2MB ($0.12\text{MB}/\text{cm}^2$)。到 1981 年底, 有关科学家为评估目的, 开始在市场上销售长度为 15~730m, 宽度为 35mm, 继而增大到 70mm 的激光记录光带。结果认为, 当激光在介质上的记录光斑为 $5\mu\text{m}$, 宽 70mm、长 730m 的光带的存储容量可高达 50GB ($0.98\text{MB}/\text{cm}^2$), $1\text{GB} = 1000\text{MB}$ 。

但真正意义上的光带研制是在 1983~1984 年加拿大 Creo Products 公司开始研发光带驱动器之后。该光带驱动器在 1991 年研制成功, 其中光带介质材料由英国 ICI (帝国化学工业公司) 的子公司 ICI Imagedata 开发。

Creo 公司开发的光带驱动器, 采用不可擦、一次写多次读 (WORM) 技术, 830m 长、35mm 宽、 $75\mu\text{m}$ 厚的光带, 存储容量达 1TB ($3.44\text{MB}/\text{cm}^2$, 1TB 存储容量相当于当时 1481 张 CD), 主要应用于科学研究机构, 如加拿大空间局等, 作为光盘存储的非自动备份。那时每卷光带的成本是 1 万美元 (即 0.01 美元/MB, 容量为 640MB 的 CD 光盘成本是 0.015 美元/MB), 驱动器成本是 25 万美元。1990 年出售了首批 2 台驱动器, 到 1992 年底, 27 台驱动器交付使用。每个驱动器的体积是 $0.6\text{m} \times 0.7\text{m} \times 2.0\text{m}$, 其内部空间清洁度达到 100 级。当时限制光带技术进一步发展的因素之一是光带的厚度, $75\mu\text{m}$ 厚的光带太厚了, 以至无法与任何大众格式的装置相适配。

1991 年, ICI Imagedata、Kodak 和 Southwall Technologies 等公司开始参与光带的开发, 由于采用先进

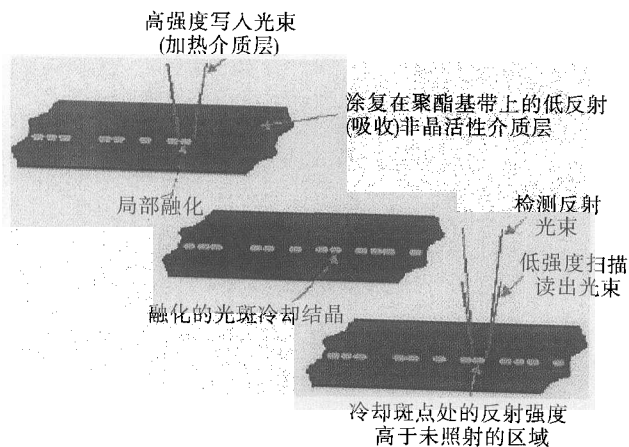


图3 光带的写/读机制

的激光器,光带的厚度降到 25 μm ,从而使整个装置可装到 3480 型的标准机箱内。

尽管 Creo 开发的光带驱动器平均数据搜索时间达到 37s,介质预期寿命达到 30 年(Battelle 研究院专用 II 级加速老化试验),数据误差率小于 10^{-20} ,但到 1995 年只出售了 40 个光带驱动器,不到 100TB (1TB = 1000GB) 的存储量,占 Creo 公司整个业务量的 10% 都不到。1995 年,需要数百太比特存储量的用户还很少。在这种情况下,Creo 公司只得将光带技术,包括知识产权、驱动器和存货出售给 E-System 的全资子公司 EMASS 公司。EMASS 公司收购后即把驱动器和光带的价格分别提高到 35 万美元和 1.5 万美元。后来(1996 年 7 月)EMASS 公司的光带技术又被 Raytheon 公司收购。

1994 年,美国国税局(IRS)为其文件处理系统(DPS)建档,需要 770TB 的存储量。当时 Loral 公司中标,其中 Kodak 公司承担用 355.6mm 英寸光盘提供前端存储,用光带作档案存储。但 1996 年 IRS 取消了 DPS 项目,Kodak 公司只得关闭光盘生产线,大部分光带开发商只好退出。

20 世纪 90 年代初,美、英等国家的许多著名厂商都参与了光带的开发。国际信息和图像管理协会(The Association for Information and Image Management International, AIIM)在 1995 年为此专门成立了光带研究组(OTSG),成员单位多达 39 个。如表 1 所示^[9]。

AIIM 光带研究组其实是一个公开的论坛,产业部门和用户可以在这个论坛上讨论技术问题,例如曾讨论了介质特性的测试方法,并编制成文件;还就介质误差监视与报告技术进行了规范。它虽不负责编制正式的标准,但可提出建议。该研究组曾编制了美国光带的发展计划,召开了多次会议,为吸引广大产业部门和用户参与光带研制起了较好的作用。

如同当代许多高新技术在发展过程中不可避免地会出现曲折一样,光带研制在 20 世纪 90 年代中期以后,由于市场和技术方面的问题,特别是市场压力,一些公司退出了这个研究领域,或进行了重组,有的还将已获得的专利和相关设施转让给别人。但仍有一些机构,主要是政府资助的单位,还在继续从事光带存储技术的开发和研究。也正因为这些机构与单位继

续努力,光带存储后来才在技术上取得重要突破,导致产业化曙光的显现。

3.2 重要进展^[1]

经过 10 多年的努力,美国光带存储技术开发已取得重要进展,重大技术问题已经解决,并进行了各种先导装置演示,获得了满意的性能数据,完成相应产品的设计,并得到一些实际应用。

3.2.1 美国政府支持的光带研究项目取得重大进展

美国国家科学技术院(NIST)通过 ATP 计划主要支持了有关光带的八个研究项目,项目实施时间为 1995 ~ 2001 年底。这些项目是:

- 1) 高密度、高速只读光数据存储系统—Calimetries 公司承担;
- 2) 新型飞行光学头光盘驱动器—Quinta 公司和 SDL 公司承担;
- 3) 使用短波长激光器的数字数据存储技术和超高性能光带驱动器—LOTS 技术公司承担;
- 4) 高清晰度监视图像的数字视频光带记录技术(DVOTR)—Avid 技术公司等 5 家公司承担,项目总经费 1090 万美元,其中 ATP 经费约 540 万美元;
- 5) 多通道光记录增强技术—国家存储产业联盟(NSIC)等 4 个

表 1 光带研究组的成员

Ampes Data Systems	Apex	Boeing	Callicot	CIO
Customer Refocus	LDS Church	Eastman Kodak	E-MASS	E-Systems
Filetek	Genealogical Society of Utah	ICI Imagedata	IIT Research Institute	IRS
Laser Tape	Library of Congress	Loral Federal Systems	LOTS Technology	MITRE
Mobil Oil	NASA/GSFC	National Archives	NML/3M	NIST
NSIC	Philips Research Laboratories	Polaroid	Primelink	Radix Systems
SAIC	Systems Engineering & Security	Storage Tek	SUN Technologies	SyntheSys Research
Technology Solutions	Terabank Systems	TRW	University of Arizona	

单位承担;

6)光记录的短波长光源研制—Carnegie Mellon 大学等9个单位承担;

7) 基于光带的快速存取大容量存储技术 (TRAAMS)—Carnegie Mellon 大学等十一个单位承担,项目总经费约2300万美元,其中ATP经费约1140万美元;

8) DVD的持续低成本制造系统—Energy Conversion Devices 公司承担。

1995年9月,ATP计划奖励了在光带开发中取得突出贡献的两个重大项目^[3],即上述项目中的第3)项和第7)项。事实证明,政府支持的项目在之后的光带产品开发中起了重要作用。

3.2.2 光带研制的性能指标已达到预定要求^[1,4]

据报道,目前市场上已有2个较为成熟的光带系统,并已作过多次演示,其数据传输速率达到100MB/s以上,远远超过了初期设计的40MB/s指标,存储容量达到每盒1TB以上。由于在微制造与精密集成的读/写激光束调制方面的创新,与光带数据记录有关的重大工程技术问题已没有严重障碍。其中一家公司采用13 μ m厚光带和绿色激光器进行的演示表明,在12.65mm(0.5in)宽、600m长的一个光带盒内(典型的DTF格式)可以存储1TB的数据。

3.2.3 光带介质的批量生产工艺取得重大突破

据报道,一种叫连续滚动生产工艺已十分成功地应用于一次写多次读(WORM)、可擦或不可擦的光带相变薄膜的低成本制造过程中,这为光带介质今后的大规模生产打下了良好的基础,具有十分重要的意义。

3.2.4 光带标准化工作已经启动^[5]

鉴于光带产品商业化发展的需要,美国光带行业在国际信息和图像管理协会(AIIM)的支持下,在美国国家科学技术院的组织和主持下,早在1995年即开始光带标准的前期研究工作,成立了光带标准委员会(C21.3)和介质误差监视和报告信息标准委员会(C21.4),在数据交换、介质特性试验方法、数据完整性评价等方面进行了大量工作。

2001年12月19日,AIIM宣布正式制订了一个与光带相关的新标准:12.65mm(0.5英寸)一次写多次读(WORM)光带盒的数字数据交换标准(Digital data interchange in 12.65mm(0.5in) write-once read many (WORM) optical tape cartridges)。该标准制订工作仍在进行中。

4 光带技术的现状

4.1 光带技术目前已基本成熟

经过美国政府在20世纪90年代期间对光带技术研发的巨额投资,有关光带研究的技术难题已基本解决,例如连续滚动的生产工艺已十分成功地应用于一次写多次读(WORM)、可擦或不可擦的光带相变薄膜的低成本制造过程中,这为光带介质今后的大规模生

产打下了良好的基础;采用微制造与读/写光束调制技术开发的驱动器及光带系统已达到预期指标,推出了系列产品;美国国家标准与技术研究院(NIST)已初步构建了光带行业的标准框架,并已发布了一个光带技术标准,为光带产业化作好了准备。

4.2 光带性能优越,是目前数据存储领域的最前沿技术^[4]

与目前国际上流行的先进磁带存储产品比较,光带优势十分明显(见表5):

1) 数据存储容量大

目前推出的光带产品,在一个大小约43cm×27cm×66cm的箱体中,存储容量达1TB以上,按信号调制方式的不同,最高可达4.5TB。而磁带存储目前的最高水平约是100GB,要到2007年才可达800GB。

2) 数据传送速度快

光带的数据传送速率已可达100MB/s以上,最高可达180MB/s,原型产品达25MB/s,是磁带的2~10倍以上;

3) 数据存取速度快

光带的存取数据量达33GB/s,存取1TB容量的数据,平均时间为10s;

4) 在寿命周期内的系统成本低

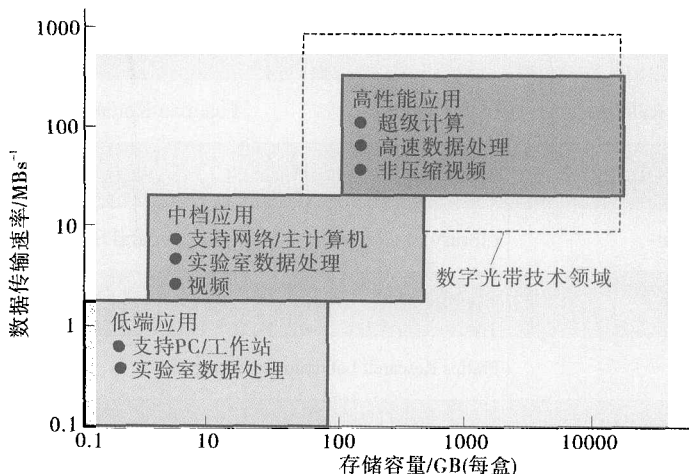


图4 光带的应用领域

表 2 光带与磁带产品的性能比较

	存储容量 /GB	介质成本 /(\$·GB ⁻¹)	面密度 /(kB·cm ⁻²)	持续传送速度 /(MB·s ⁻¹)	驱动器成本 /(\$·GB ⁻¹)
光带	1300	<1.00	17060	40~100	<50
3590E	40	1.63	499	14	>60
9940	60	1.57	675	10	>60
AIT-3	100	1.10	5435	12	>60
DLT 8000	40	1.65	516	6	>60
Super DLT	110	1.27	1420	11	>50
LTO Ultrium	100	1.13	1291	15	>60

* (除光带外,其他均为目前国际上比较先进的大容量磁带产品)

性价比好于目前国际上几个先进的磁带存储产品。

5) 存储数据可靠,使用寿命长

光带能将数据可靠地保存 100 年以上,而磁带理论上可达 30 年,实际上 10 年不到即出现数据丢失。据美国国会图书馆透露,美国航空航天局 (NASA) 存储在一盘盘磁带上的航天资料,20% 以上已出现数据丢失与错误。光带是目前最安全、最可靠的存储介质。

4.3 光带的最佳应用领域在档案文献的存储^[5,6]

光带的优异性能使它最适合的应用市场是那些需要进行长久、大容量存储的用户,特别是存储容量在 10TB 以上的系统。因为系统越大,采用光带获得的效益越好 (如图 4 所示)。

光带的应用处于目前正在迅速发展的几个高端应用市场,如高性能超级计算、网络高速数据存储、视频图像的非压缩存储与传输等。

资料表明,光带典型的高端应用是政府、企业、银行、证券、保险和法律等部门,需要将大量的记录作永久保存。它们常常是信息的使

用部门,同时也是信息的管理部门。每年收集、使用、存档及备份的数据量大都在几百吉比特到上千吉比特。不到 20% 的大用户可能占据整个数据存档容量的 80%,对于这些用户来说,数据如何存储将直接影响系统性能的提高和成本的下降,光带对它们将有很大的吸引力。在这些应用中光带初始阶段可能是磁带存储的辅助手段,但可以相信,最终光带将取代磁带。

4.4 光带目前的问题主要是应用市场有待开发,产业化进展较慢

光带目前已在存储市场方面取得了一些应用,但重大应用实例还不多,这可能是由于市场还未成熟,还没有为更多的人所了解。由于光带特别适用于大规模、大容量数据存储,但目前这方面的用户不多,支持光带应用的需求高潮还未到来。但可以相信,随着全球信息化水平的不断提高,光带一定能找到广阔的发展空间。

影响光带技术产业化进程的另一个主要原因是大容量磁带技术发展相对成熟。目前各大信息存储产品生产厂商基本都拥有先进的磁带技术,开发日程已安排到

2007~2008 年。磁带是目前各大公司投入巨资重点发展的品种,在市场上有一定的占有率。因此,对于新兴的光带技术,他们的态度过于谨慎。

5 我国发展大容量存储技术意义深远

5.1 带动软件、服务业以及相关产业的发展

信息存储产业的发展离不开软件开发以及相关服务领域的存在,特别是在智能信息存储系统中,软件和服务呈爆炸性的增长。如果把相关软件与服务一起算进来,据 EMC 公司估计,信息存储市场到 2005 年可以达到超过 1000 亿美元的规模。发展信息存储产业,同时还可以带动一批配套产业的发展。以光带产业来说,它可以带动激光器产业、介质生产产业和微机械加工产业的发展。

5.2 参与游戏规则的制定,抢占产业发展的上游空间

纵观我国目前的信息存储市场,EMC、IBM、惠普、日立等跨国公司占据了信息存储领域的绝大部分中高端市场,并正向低端市场渗透,留给国内企业的空间越来越小

了。这其中的原因主要在于目前的信息存储核心技术都掌握在国外跨国公司手中。

最近发生在国内的 DVD 事件值得深思。国际上 6C 公司(日立、松下、三菱电机、时代华纳、东芝、JVC)是 DVD 技术与标准的开发商和参与者,他们要求中国 DVD 整机厂商在产品出口时交纳一笔专利许可费。6C 的行动实际上是在提醒中国人,要为自己的落后和"核心技术不在自己手中"付出代价。

因此,中国要重视新兴技术领域的开发工作,因为在这些领域我们还是和其他国家一样处于同一

起跑线上。要注意寻求国际合作,积极加入国际技术联盟,参与国际标准制定及相关活动,这实际上是参与国际现代工业游戏规则的制作。参与游戏规则的制作对我国抢占新兴产业上游空间、培育有竞争力的新兴产业具有重要的意义。

5.3 满足国内大容量存储市场快速增长的要求

中国经过 20 多年改革开放,经济实力大为增强,信息化水平大大提高。尤其是随着 INTERNET、电子商务、多媒体娱乐、超级计算等新兴行业的崛起,网络数据和信息的急剧增加带来了存储服务市场的爆炸性增长,大容量信息存储

市场需求已经变得十分迫切。

国内十分重视信息安全工作,已把信息安全工作作为信息化建设的一个重要组成部分来看待。调查表明,在中国企业信息化建设中数据丢失非常严重,73.8%的企业遭受过数据丢失,其中 14.6%的企业需要把所有工作重做,55.9%的企业大部分工作需要重做。越来越多的企业需要高效、安全、智能的信息存储解决方案。国家有关部门已指示相关要害部门吸取美国 911 事件的教训,对重要的关键数据要进行异地数据备份,这无疑为大容量存储技术提供一个绝好的发展机遇。

参 考 文 献

- 1 Progress Toward Demonstrating A High Performance Optical Tape Recording Technology, N19960052758
- 2 Will optical tape find a niche in automated data libraries? *DATA STORAGE*, March, 1996
- 3 Digital Optical tape: Technology and Standardization Issues, *National Institute of Standards and Technology*, <http://esdis-it.gsfc.nasa.gov/msst>, 1996
- 4 Data storage 2000, <http://www.msmonline.com/focus.htm>
- 5 Sony charts road to 800 GB for 8-mm tape cartridge, *DATA STORAGE*, July 2001
- 6 New service available with new storage capacities, <http://www-5.IBM.com/storage>

Optical Tape—The Volume Digital Storage Technology with Great Competitiveness

CHEN Mingjiu² WU Fengxia¹ HONG Jianjun¹

(¹ Institute of Scientific & Technical Information of Shanghai, Shanghai 200031)
(² Shanghai Pudong Software Park, Shanghai 201203)

Abstract The origin, development process and the latest progress of optical tape technology is reviewed. The optical tape is one of the most competitive technology for volume data storage. More importance should be attached to the optical tape by Chinese science institutes and industries.

Key words optical tape, volume data storage, digital storage, optical storage