

光存储技术研究进展

郑晨溪

(沈阳航空工业学院, 辽宁沈阳 110136)

摘要: 本文介绍了光存储研究的进展。阐述和分析了光盘存储、蓝光存储、近场光存储、多阶光存储和全息光存储等技术的基本原理以及发展水平。

关键词: 光存储; 光盘; 蓝光激光二极管; 近场; 全息

伴随信息资源的数字化和信息量的迅猛增长, 对存储器的存储密度、存取速率及存储寿命的要求不断提高。在这种情况下, 光存储技术应运而生。光存储技术具有存储密度高、存储寿命长、非接触式读写和擦出、信息的信噪比高、信息位的价格低等优点^[1]。本文简要介绍光存储技术的发展与现状。

1 光存储技术原理

光存储技术是采用激光照射介质, 激光与介质相互作用, 导致介质的性质发生变化而将信息存储下来的。读出信息是用激光扫描介质, 识别出存储单元性质的变化。

在实际操作中, 通常都是以二进制数据形式存储信息的, 所以首先要将信息转化为二进制数据。写入时, 将主机送来的数据编码, 然后送入光调制器, 这样激光源就输出强度不同的光束。此激光束经光路系统、物镜聚焦后照射到介质上(焦点处记录斑直径正比于波长 λ , 反比于聚焦系统的数值孔径 NA), 其中一种存储方法是介质被激光烧蚀出小凹坑。介质上被烧蚀和未烧蚀的两种状态对应着两种不同的二进制数据。识别存储单元这些性质变化, 即读出被存储的数据。具体阐述如下:

1.1 只读式光盘 记录信息: 记录介质为涂有光刻胶的玻璃盘基。在调制后的激光束的照射下, 再经过曝光、显影、脱胶等过程, 正像母盘上就出现凹凸的信号结构。之后利用蒸发和电镀技术, 得金属负像母盘, 最后用注塑法或光聚合法在金属母盘上复制光盘。读出信息: 激光照射在凹坑上, 利用凹坑与周围介质反射率差别读出信息。

1.2 CD-R 光盘 记录信息: 利用热效应。用聚焦激光束照射 CD-R 光盘中的有机染料记录层, 照射点的染料发生汽化, 形成与记录信息对应的坑点, 完成信息的记录。读出信息: 利用坑点与周围介质反射率的差别。

1.3 可擦写光盘

1.3.1 相变型存储材料的光盘 记录信息: 高功率调制后的激光束照射记录介质, 形成非晶相记录点。非晶相记录点的反射率与未被照射的晶态部分有明显的差异。读出信息: 用低功率激光照射存储单元, 利用反射光的差异读出信息。信息的擦除: 相记录点在低功率、宽脉冲激光照射下, 又变回到晶态。

1.3.2 磁光存储材料的光盘 记录信息: 记录介质为磁化方向单向规则排列的垂直磁光膜。在聚焦激光束照射下, 发生热磁效应, 记录点的磁化方向发生变化, 进而完成信息记录。读出信息: 利用法拉第效应和克尔效应。信息的擦出: 在激光的作用下, 改变偏磁场的方向, 删出了记录信息。

2 第一代、第二代光盘技术

多媒体信息时代的第一次数字化革命是以直径为 12cm 的高音质 CD (Compact disc) 光盘取代直径为 30cm 的密纹唱片。这其中包括 CD-ROM, CD-R 和 CD-RW 类型。CD 光盘使用的激光波长为 780nm, 数值孔径为 0.45, 道间距为 1.6 μ m, 存储容量为 650MB。

第二代数字多用光盘 DVD (Digital Versatile Disk) 使用的激光波长为 635/650nm, 数值孔径为 0.6, 道间距为 0.74 μ m, 单面存储容量为 4.7GB, 双面双层结构的为 17GB。DVD

光盘系列有 DVD-ROM, DVD-R, DVD-RW, DVD+RW 等多种类型。目前 DVD-Multi 已兼容了 DVD-RW, DVD+RW, DVD-RAM 三种光盘。上述这些产品的问世,对包括音频、视频信息在内的数据的记录都发挥过巨大的作用。

3 蓝光存储及近场光存储

高清晰度电视 HDTV(High-Definition)的投入使用,要求研发出更高存储密度的光盘,蓝光存储、近场光存储等应运而生。

3.1 蓝光存储

光存储密度与 $[NA / \lambda]^2$ 成正比,所以提高存储密度首先想到的是缩短波长 和提高物镜的数值孔径 $NA^{[2]}$ 。随着 405nm 波长的蓝紫色半导体激光器的成功开发和商品化,高密度激光视盘系统步入了第三代光存储时代。

Ricoh 公司推出的蓝光光盘,采用 AgInSbTe 相变材料,数值孔径为 0.6,在普通盘面结构上进行槽岸同时记录实验,得到单盘单面 12GB 存储容量,30Mbit/s 数据输出^[3]。Sony 公司及其联盟推出的蓝光光盘有单面单层容量为 23GB,25GB,27GB 三种可擦写光盘和其它规格的光盘,能存储 2h 的高清晰度视音频信号,以及超过 13h 的标准电视信号。专业光盘,单光头读写速率为 72Mbps,双光头为 144Mbps,可提供稳定的记录和高质量的图像,实验素材节目的高速读写。NEC 公司研发的两种蓝光光盘,数值孔径分别为 0.65 和 0.85。用户数据容量分别为 20GB 和 30GB。Toshiba 公司在改进相变材料的基础上,采用槽岸记录方式与最大似然部分响应技术,获得的单面存储容量是 18GB($NA=0.65$)和 30GB($NA=0.85$),且两者的最低信号误码率低于 5×10^{-5} ,擦写 10 次后还低于 1×10^{-4} 。Pioneer 公司采用新的信号处理技术等,研制成功 27.4GB 双层只读光盘。以东芝为首的 HD DVD 联盟推出的光盘有:只读单层 15GB,双层 30GB,可擦写单层 20GB,双层 40GB 等。

Matsushita 公司制做的蓝光双层相变光盘,第一层的记录功率为 8mW,第二层的记录功率为 11mW,信噪比大于 50dB,可擦性超过 30dB,其 120mm 单面盘面上的存储量为 27GB,用户数据传输率为 33Mbit/s。之后他们又完成了数值孔径为 0.85 的相变高密度光存储实验^[4]。在研发的多层记录方式中,使用波长 405nm 的激光器,数值孔径为 0.85,锯齿摆动记录格式的双层结构存储量为 45GB,四层为 90GB。与 DVD 兼容(数值孔径为 0.65)的双层存储量为 27GB,四层为 90GB。

3.2 近场光存储

为突破衍射分辨率极限,研究人员提出了近场光存储。其主要原理是使用锥尖光纤作为数据读写的光头,而且将光纤与盘光之间距离控制在纳米级,使从光纤中射出的光在没有扩散之前就接触到盘面,故称作近场记录。与传统的光存储方式相比,近场光存储的存储容量大大提高。当光斑直径小于半个波长时,存储密度就会提高几个数量级,可达到 100GB 以上。光与物体相互作用时,一种光是可以向远处传播的传播场,另一种光是被局限在物体表面,在物体之外迅速衰减的非辐射隐失场。隐失场是非均匀场,其性质与样品的性质和结构有密切关系。物体亚波长结构的信息隐藏在隐失场中。因而利用近场隐失场可以获得超衍射极限的分辨率。目前国内外近场光存储研究主要集中在下述三个方面。

3.2.1 固体浸没透镜(SIL)近场存储

此技术主要依靠提高光学头的有效数值孔径来减小读写光斑的直径。固体浸没透镜与记录介质间的距离在近场范围内,聚焦在 SIL 底面的光斑通过近场耦合,传输隐失场的光,在介质中记录信息。理论上光斑直径为 125nm,相应存储密度为 $6.2\text{GB}/\text{cm}^2$,且存储速度快。目前 SIL 存储还处在实验阶段。

贺锋涛等人采用波长为 650nm,出射功率 10nW,聚焦物镜数值孔径 0.65 的大功率激光头与 SIL 系统相结合,在 CD-RW 相变光盘上实现了刻录线宽为 0.45 μm 的静态刻录结果。它与不采用 SIL 系统而其它条件相同的光存储相比,记录线宽(0.65 μm)压缩了 1.44 倍^[5]。

3.2.2 超分辨率近场结构(Super-RENS)存储

Super-RENS 存储是传统的高分辨率光盘存储技术与近场光学技术的结合。它具有多层膜系。在距记录层 20nm 处是用 Sb 或 AgOx 材料做的掩膜层，作用与纳米孔径相同，故称为孔径开关层。在激光束的照射下，孔径开关层动态地产生非线性效应和表面等离子激元场增强效应，这样记录光束直径突破电磁衍射限制，在记录介质上形成纳米尺寸的记录点。

将 Super-RENS 技术与蓝光技术相结合，实现超高密度存储是目前研究的一个热点。Yamamoto 等人的实验，在氧化锌(ZnO)作掩膜的蓝光只读光盘上，线密度为普通蓝光只读光盘的 2 倍。Duseop Yoon 等人报导了将多膜结构用于蓝光只读光盘的可行性。Weichin Hsu 等人对无机一次写入型材料 SbNx 的蓝光超分辨实验，获得了更好的读出信号。使用 405nm 激光器，0.65 数值孔径的光学系统，其超分辨的读出为 60nm 记录符^[6]。Samsung 公司设计的适合 Blu-Ray 系统的超分辨近场结构，实现了 50nm 记录符(75GB)和 CNR 为 42.5dB 的有效读出^[7]。

3.2.3 探针扫描显微术(PSM)近场存储

它是基于原子尺度上的操作。借助于近场光学探针，将分辨率提高到原子水平的一种方法。蔡定平等人利用这种方法在一次性商用存储光盘上存入小于 100nm 的信息点。Partovi 等人改变了传统的光纤探针，采用直径为 250nm 的小孔径激光(波长为 980nm)获得了 250nm 的记录点。Gorecki 等人利用集成 PD 的 VCSEL 作为光源的方法，获得 200nm 的记录光斑直径^[8]。目前这种存储方法离商用化还有一些问题需要解决。

4 多阶光存储技术^[9]

多阶光存储是目前国内外光存储研究的重点之一，缘于它可以大大地提高存储容量和数据传输率。在传统的光存储系统中，二元数据序列存储在记录介质中，记录符只有两种不同的物理状态，例如只读光盘中交替变化的坑岸形貌。多阶光存储是读出信号呈现多阶特性，或者直接采用多阶记录介质。多阶光存储分为信号多阶光存储和介质多阶光存储。

4.1 信号多阶光存储

其早期方案是坑深调制(PDM: Pit Depth Modulation)。在这种多阶只读光盘中，信息坑的宽度固定为 t_{min} ，信息坑的深度具有 M 种不同的可能，代表着不同的阶次。不同深度的信息坑，其读出光呈现不同光强，从而实现多阶坑深调制。Sony 公司研发的是利用信息坑边沿相对于固定时钟的变化，进行多阶信息存储，即利用信息坑长度的变化实现多阶光存储。信息坑的起始和结束边沿相对于时钟边沿都可以按一定的步长变化。若信息坑的起始和结束边沿的可能位置数均为 8，那么一个信息坑的边沿变化可能出现 64 种状态，信息坑可存储 6 比特(byte)的信息，因此显著高于传统光盘的记录密度。

4.2 介质多阶光存储

有多种介质可以用来实现多阶光存储。在电子俘获多阶技术中的光盘的记录层中掺杂有两种稀土元素，当第一种掺杂离子吸收短波长激光的光子后，其电子被激发到高能级状态，该电子可能被第二种掺杂离子“俘获”，实现数据的写入。用另一长波长激光(例如红光)将俘获的电子释放到原来的低能级状态，存储的能量以荧光的形式释放出来，由于发出的荧光强度与俘获的电子数量成比例，同时也与写入激光的强度成比例，该写入/读出过程具有线性响应，使得电子俘获材料适用于数字光存储。电子俘获光存储的反应速度快，可以实现 nS 时间的读写。

此外，通过调整退火时间和温度，控制相变材料的结晶程度，也可以实现多阶反射调制存储。

5 全息光存储

在第四代光盘中，全息光盘凭借其创新型思维和在光电器件、全息存储材料等研究领域取得的突破，成为未来海量存储消费市场上的新宠^[10]。在全息光存储中，存储介质是

一项关键技术。它关系到存储容量、传输速度、系统体积等。目前广泛使用的存储介质有光折变晶体,光折变聚合物,光致变色材料和光致聚合物。

全息光存储采用复用技术。其中空间复用,就是将不同的全息图(数据页)存储在介质的不同区域。体积复用包括角度复用、位相复用和波长复用。角度复用是每改变一次参考光的入射角,就完成一幅全息图的存储。位相复用中使用的是正交位相编码。波长复用是一个特定波长的光对应一幅全息图。混合复用技术,顾名思义是将上述几种复用技术进行优势组合。全息光存储采用复用技术,可大幅度地提高存储容量和系统性能。

全息光存储以其存储密度高、超快存储速度、高冗余度和寻址速度快等优势,已成为存储领域研究的热点。2001年,IBM公司的全息存储实验密度为250GB/in²。2002年,Inphase公司展示的可记录型全息记录介质播放系统的记录容量达100GB,可容纳30min的非压缩数字HDTV视频内容,数据传输速率为160Mbits/s。Aprlis公司在120mm标准盘面上,利用高性能全息存储介质实现了200GB存储容量和200Mbits/s的数据传输速度。2004年,Optware公司在美国加利福尼亚召开的光存储技术国际会议上,首次公开了全息光盘记录及播放装置。2006年,Inphase公司宣布已开发出一款全息光驱原型,该设备能提供高达1.6TB的容量,存储密度为515GB/in²。而目前使用的垂直记录的最高磁记录是170GB/in²。2007年该公司还与德国厂商DSM签OEM协议,承诺制造出存储容量为300GB、Tapestry 300R的全息存储驱动器。2007年以色列的Mempile公司的多层存储系统实现了108层写入、读出结果,5微米层间距的典型层间干扰小于-35dB。2008年多阶存储技术采用多阶游程受限编码方法可以有效将DVD9结构光盘的存储容量提高60%,达到14GB的存储容量。

综上所述,光存储技术正处在升级换代的新阶段。随着新材料的使用,新技术的突破,光存储定会给人们生活带来更新更美的数字享受。

参考文献

- [1] 金国藩,张培坤.超高密度光存储技术的现状和今后的发展[J].中国计量学院学报,2001,13(2):6-12.
- [2] 徐端颐.光盘存储系统设计原理[M].北京:国防工业出版社,2000.
- [3] Shinotsuka M, Onagi N, Harigaya M. High-density and high-data transfer-rate optical disk with blue laser diode and Ag-In-Sb-Te phase-change material [J], Jpn. J. Appl. Phys., 2000, 39: 976-977
- [4] Shoji M, Nakamura A, Miyashita H. High-density recording on a phase-change rewritable disk using a 405nm blue laser diode [J], Jpn. J. Appl. Phys., 2002, 41: 1687-1688.
- [5] 贺锋涛,冯晓强,郝爱花.固体浸没透镜静态光存储技术研究[J].西安邮电学院学报,2007,12(5):70-72.
- [6] Hsu Wc, Tseng M R, Tsai S Y. Blue-laser readout properties of super resolution near field structure disk with inorganic write-once recording layer [J] Jpan J. Appl. Phys., 2003, 42:1005-1009.
- [7] Kim J, Kim H, Yoon D. Signal characteristics of super-resolution near-field

- structure disk in blue laser system [J], Jpan. J. Appl. Phys., 2004, 43:4921-4924.
- [8] C. Gorecki, S. Khalfallah, H. Kawakatsu, et al. New SNOM sensor using optical feedback in a VCSEL-based compound-cavity [J]. Sensor & Actuators, 2001, 87:113-123.
- [9] 胡华, 雷志军, 胡恒. 多阶光存储技术研究进展 [J], 记录媒体技术, 2005, 2:16-20
- [10] 郑光昭, 光信息科学与技术应用[M], 北京: 电子工业出版社, 2002.