



# 用于海量信息快速读写的 光敏感全息存储材料及技术

注：山西省青年科技研究基金资助项目（项目编号：2011021021-3）

摘要：阐述了全息存储的原理及特点，详细介绍了用于全息存储的光敏感平面及体全息存储材料，以及在这一活跃的研究领域中的新进展，特别是为了提高存储容量和抑制串象噪音所发展起来的各种全息复用技术。光全息存储的独特优点，尤其是体全息存储的高容量和高数据传输速率，使光全息存储最有希望成为下一代海量存储技术。

关键词：全息存储；串象噪音；复用技术

中图分类号：O438.1

文献标识码：A

文章编号：1006-883X(2012)08-0006-06

收稿日期：2012-07-02

▶▶ 马 晨

## 一、引言

人类已经步入了一个数字化的信息时代，信息在社会生活的各个领域中正处于前所未有的关键地位。当今社会的数据归档、数字电影、互动媒体游戏等对数据存储的容量、速度、便携性提出了更高的要求。据统计，现在全人类每年要产生  $(1\sim 2) \times 10^9$  GB 的新信息，这一信息数量相当于全球每人每年要产生 250MB 的信息。另据美国加州大学 Berkeley 分校及 EMC 公司所做的调查显示，在全社会每年产生的所有信息中，有超过 75% 的信息是属于固定内容 (Fixed content) 的数据，也就是说，这些信息一旦生成就不再变更。这类固定内容的信息存储上要包括法律条文、标准和规范的电子文档以及数字化医学信息、电子邮件及附件、支票图像、卫星图像、音频视频信息等，这为光学存储提供了更大的应用空间。全息数据存储技术与现有光学存储技术不同，提供的更大的存储容量、更高的读写速度，被认为是重要的第四代光存储技术<sup>[1]</sup>。

## 二、全息存储原理及特点

### 1、全息存储技术的原理

全息一词事实上源自于英文中的“Holography”，Holography 则由 holo (即 whole) 与 graph 两词组合而成。全息(Holography)，顾名思义，就是记录光场的全部信息，包括光波的强度分布和位相分布。

信息记录过程是两束相干光束重叠，产生干涉图。干涉图的强度由两束相干光束的振幅和相位决定。干涉图被记录材料保存为全息图，这是一个光照下的化学物理过程，最终在其内部形成全息光栅。两束相干光束的任意一束照射全息图都可以再现出另一束相干光束。一个常见的例子就是一束光照射到全息图上，我们可以看到一个三维的图像。具体的物理过程简介如下：一束平面光束或者球面光束分为两束作为两束相干光束，其中一束照射到三维物体上，其散射光与另一束相干光干涉，全息图记录了散射光的全部信息，即散射光的强度光场的振幅和三维物体表面的起伏光场的相位。用相干光照射全息图时，散射光就可以真实的再现出原来的三维物体。

早在上世纪 70 年代，国外诸多研究机构就已设计出许多有潜力的全息存储系统。但由于当时的技术和材料均不够完善，在其他存储技术尚能满足需求的情况下，全息存储器的实用化进程一度迟缓。近年来，并行高速计算机对海量高速存储器的需求，以及在光学计算领域的研究日趋高涨，因而在全息存储领域再次掀起了研究热潮。

全息数据存储与复现系统的示意图如图 1，532nm 激光器发出的光束经分光棱镜 (PBS)，分为两束光；一束光经过空间光调制器 (Spatial Light Modulator, SLM) 称为信号光，另一束光称之为参考光。原始信息经过采样量化，成为数字信息。数据经过编码成为二维数据页，上载到空间光调制器。空间光调制器根据上载的数据对信号光的振幅或相位进行调制，调制后的信号光与参考光在绿光敏感的记录材料里干涉，数据就以全息光栅的形式存储在材料中。数据读取时，关闭信号光，参考光照射记录材料 (一般使用其他波段的激光，如图 1 中的 632nm 激光，因为材料在此处不吸收)，携带数据的信号光再现处理被探测器接收，经过解码，就得

到数据，如图 2。由于一次可以记录或读取一个数据页，全息存储系统理论上可以达到很高的数据传输率。由于全息存储在记录材料的同一位置复用多幅全息图，因此可以达到很高的存储密度。改变入射参考光的某一参数，比如波长、入射角、相位等，就可以在记录材料的同一位置存储多幅全息图，用相应的参考光就可以读出信号光。

### 2、全息存储技术的特点

(1)全息存储具有存储容量大的优势。用感光干板作为普通照相记录信息时，信息存储密度的数量级一般为  $10^5\text{bit}/\text{mm}^2$ ；用平面全息图存储信息时，存储密度一般可提高一个数量级达  $10^6\text{bit}/\text{mm}^2$ ；如果用体全息图存储信息时，存储密度可高达  $10^{13}\text{bit}/\text{mm}^2$ 。

(2)全息存储具有极大的冗余性，存储介质的局部缺陷和损伤不会引起信息丢失。

(3)全息存储具有读取速率高和能并行读取的特点，每个数据页可包含达 1Mbit 的信息，写入一页的时间在 100ms 左右，读信息的时间可以小于  $100\mu\text{s}$ ，而磁盘的寻址时间至少需要 10ms。

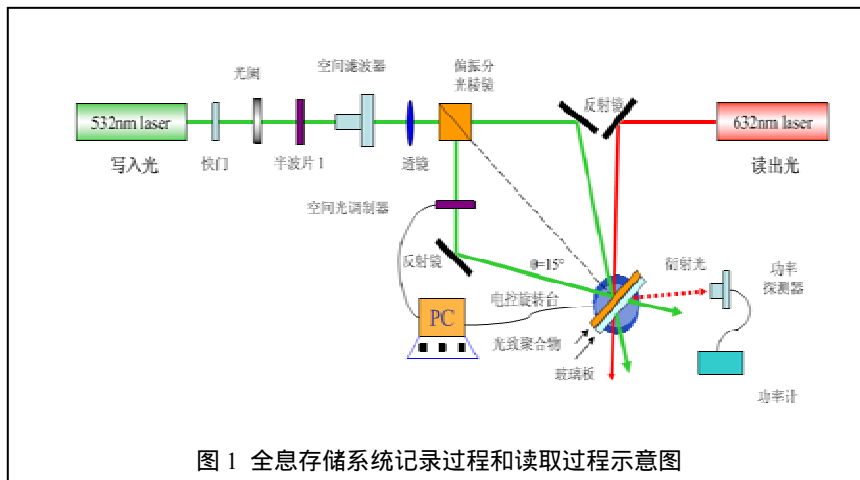


图 1 全息存储系统记录过程和读取过程示意图

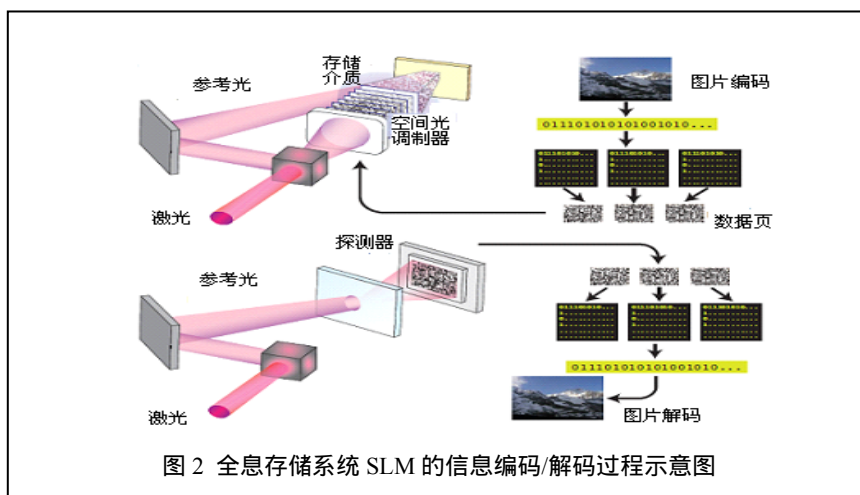


图 2 全息存储系统 SLM 的信息编码/解码过程示意图

### 三、光敏感全息存储材料

目前用于光敏感全息存储的材料分为两大类：一类是平面全息记录材料，包括银盐材料、光致抗蚀剂以及光导热塑料材料；另一类是体全息记录材料，包括重铬酸盐明胶、光致聚合物、光致变色材料与光折变材料。理想的全息存储材料应该具有高的分辨率、较高的灵敏度、低噪声、高动态范围和高衍射效率，保存时间长和价格低等特点。

#### 1、平面全息记录材料

平面全息记录材料通常取薄膜形式。即使材料本身的厚度可以比波长大得多，但它对光照的响应主要反映在记录介质表面，而不是在介质内部的体积中。

##### (1) 银盐材料

银盐材料是传统的全息记录材料，银盐乳胶有很高的感光灵敏度和分辨率，有较宽广的光谱灵敏范围，并具有很强的通用性。它既可以用来记录振幅型全息图，也可以记录高衍射效率的位



相型全息图。目前,超微粒的银盐乳胶已经具有成熟的制备技术,并有商品化产品—全息干板。但是银盐材料的显影过程需要溶剂处理程序较为繁琐,限制了其作为全息存储器的记录材料的应用前途。

### (2) 光致抗蚀剂

光致抗蚀剂是一种可以制备浮雕型位相全息图的高分子感光材料,这种材料也可以旋涂在基片上制成干板,光照射后,抗蚀剂中将发生化学变化,且随着曝光量的不同,发生变化的部分将具有不同的溶解力。选用合适的溶剂显影,便可制成表面具有凹凸的浮雕相位型全息图。光致抗蚀剂有正性和负性两种类型。负性光致抗蚀剂在显影过程中,溶剂将腐蚀掉未曝光部分的材料。为了获得较好的图像质量,需要对负性光致抗蚀剂进行足够曝光,但这往往与全息图成像的最佳曝光量相矛盾,从而使负性光致抗蚀剂存储的全息、图的精细线条往往由于曝光量不够,而在显影时被腐蚀掉,影响全息图的质量。正性抗蚀剂的曝光和显影特性与负性抗蚀剂正相反,故使用正性抗蚀剂可以克服上述困难而获得高质量的全息图。采用这种方法记录的全息图可以铸模制成标准母盘,实现大批量、低成本的复制生产,因此光致抗蚀剂在大规模复制只读光盘方面有巨大应用潜力,但是由于也需要繁琐的显影过程,不宜作为全息存储器的记录材料。

### (3) 光导热塑材料

光导热塑材料是另一类浮雕型位相记录材料,是在电照相基础上发展起来的一种非银全息记录材料。首先用真空镀膜的方法在玻璃片基上镀一层透明的导电膜层,在其上用化学方法涂布 2~3 $\mu\text{m}$  的透明光导体,然后再加一层厚度约 1 $\mu\text{m}$  的热塑性材料,就制成了光导热塑材料。

光导热塑全息图的成像原理可简单描述为:首先,热塑片在暗室中进行充电敏化,即用高电压对其充电,使热塑层带上均匀的表面电荷,同时透明的导电层上也感应了一层均匀的反号电荷,这样,在热塑料与透明导体之间形成均匀的电位差,使光导热塑材料在电晕充电后具有感光作用;随后进行全息记录,曝光部分的光导体的电阻下降,在电场的作用下,导电层相应部分的电荷转移到光导层和热塑层的界面,在光导热塑片内形成潜像;第三步进行再充电,由于其它条件不变,再充电时未曝光区基本不变,曝光区却被补上更多的电荷,使得热塑层表面的电位相等,由于表面的电荷密度发生了变化,使电位潜像变成了电荷密度潜像;最后进行加热显影,在电荷作用下导致热塑层形变,从而将记录的图象以凹凸的形状显示出来。

光导热塑材料作为全息记录介质,拥有许多优点:它对

整个可见光波段都敏感,尤其对绿光区响应最佳;它衍射效率较高,可获得干法、原位、实时显影,并可重复使用。它的缺点是分辨率不高,一般小于 2000 线对/mm,且高质量薄膜制造困难。

### 2、体全息记录材料

作为体全息记录材料,不仅要求其厚度远大于光波长,而且介质的整个体积内部都应该能对光照产生响应。

#### (1) 重铬酸盐明胶

重铬酸盐明胶拥有很好的全息存储能力,其特点是高衍射效率、高分辨率、低噪声、图像消失后可以通过再处理基本恢复、制备工艺简单等。利用重铬酸盐明胶记录信息时,它很少吸收和散射光,在介质内可以形成很大的折射率变化,制成尽可能厚的全息图,衍射效率接近 100%。DCG 光化学全息记录过程为:作为感光敏化剂的重铬酸盐溶解在明胶中,它以六价铬离子  $\text{Cr}^{6+}$  与明胶胶合,形成 DCG 膜。曝光时,在 DCG 膜吸收光后使六价铬离子  $\text{Cr}^{6+}$  变为低价离子态  $\text{Cr}^{3+}$ 。随后与其附近的明胶分子的残基进行共价结合而形成交联,使明胶坚膜硬化。由于各区曝光程度不同,这种交联的数量也随之不同。交联程度与 DCG 的溶胀、密度、折射率等性质密切相关。由于整个光化学反应在明胶内,交联作用也使得水洗显影时,未曝光部分不象软明胶那样被冲掉,而仅仅是洗去残余的重铬酸盐。同时明胶也因吸水而溶胀,溶胀程度与曝光量成反比。最后,在异丙醇中浸泡脱水,并快速干燥,使曝光部分的折射率提高,就制成了衍射效率很高的位相型全息图。

重铬酸盐明胶尽管拥有理想的全息存储特性,但它有个缺点限制了它的广泛应用:在自然环境中不稳定,难以得到有利的结果,而且从曝光到显影阶段,光敏层的变形问题也没有解决。这种材料的感光度不高,光谱敏感区也有限。

#### (2) 光致聚合物

光致聚合物是一类非常适合商用全息存储的记录材料。它有许多潜在的优点:如可以通过掺入不同的光敏剂选择工作波长,提高灵敏度;选择单体成分提高衍射效率;增大动态范围,增加存储密度和容量;工艺简单,成本低廉,化学组成范围宽、能大规模生产、并可实现干法在线处理等优点,使人们对它的研究产生了很大的兴趣,在这方面杜邦,宝丽莱,佳能,富士等公司都做了大量的工作,理想的光致聚合物材料的出现,使光学全息存储器的实用化逐渐成为可能。

光致聚合物主要由单体、聚合体和光敏剂组成。光致聚合物是以化学方法产生自由基或离子引发单体分子发生聚合的反应。光致聚合物中全息图的形成可定性描述为:记录光

照射聚合物后,光敏剂被光子激发,随后产生引发曝光过程;然后,自由基引发空间非均匀分布的单体分子聚合,曝光量大的区域聚合分子浓度相应较大,并且自由单体向聚合物浓度大的区域扩散,直至自由单体耗尽。最后采用均匀曝光处理进行定影,使残余的单体完全聚合,最终在介质内形成位相型全息图。根据膜层厚度,可以是表面调制的浮雕型全息图,也可以是整层内折射率调制的全息图,如图3。

全息光致聚合物常用单体有丙烯酸甲酯、丙烯酸三溴苯酯、缩乙二醇双丙烯酸酯等。一般的光聚物单体光照时不敏感,不能直接产生聚合,所以通常要在其中掺入对适当波段比较敏感的光敏剂及光聚合引发剂。常用的光敏聚合引发剂有羰基化合物、偶氮化合物、有机硫化物、氧化还原体系、感光色素类等等,如安息香、偶氮二异丁、硫醇类、核黄素、花菁类色素等。为提高光致聚合物材料的机械物理性能、衍射效率和灵敏度,常在聚合物中加入成膜树脂。如明胶、聚乙烯醇、聚苯乙烯、纤维素乙酸丁酯等。

### (3) 光致变色材料

光致变色存储是利用记录材料在光子作用下发生化学变化而实现信息存储,常用的光致变色材料有螺吡喃、吡咯啉精酸酐、二芳乙烯、偶氮苯等有机物。根据光致变色材料的性能,它可用于多种光学记录材料,如光学双稳态记录、多重记录、超分辨记录和全息记录4个方面。

利用光致变色材料作全息记录时,由于光致变色膜层内的分子极化特性在入射光光子的作用下发生改变,导致膜层折射率变化。尤其是记录波长与介质吸收谱线发生共振时,膜层内部可产生显著的折射率变化。此时全息图的衍射效率主要来源于介质折射率的变化,而不是介质吸收率的变化。利用这一特点,可用物光和参考光的干涉场在光致变色材料

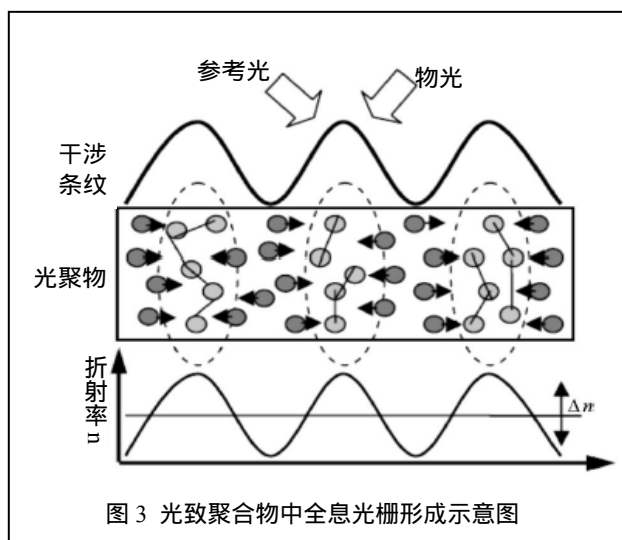


图3 光致聚合物中全息光栅形成示意图

中形成折射率调制的全息图。光致变色材料具有无颗粒特征,分辨率仅受记录波长的限制。并且,若记录光功率足够强,则不必采用干法或湿法显影,只需光照就可以在原位记录或擦除全息图。光致变色材料还具有宽的动态范围。其主要缺点是灵敏度较低,响应速度慢。

### (4) 光折变材料

光折变晶体是一种优良的全息存储材料,目前在全息光存储和光学信息处理领域得到了广泛的应用。光折变效应是光学材料在光辐射下折射率随光强空间分布而变化的效应,是一种非局域的非线性光学效应,由贝尔实验室 Ashkin 等人于1966年在无机电光晶体中发现。两年以后,研究人员认识到可以利用这种效应存储信息。光折变晶体中的杂质、缺陷和空位,在晶体禁带隙中形成中间能级,即构成施主和受主能级,成为光激发载流子的主要来源。在全息记录期间,干涉光束在电光晶体中产生亮区和暗区。当选择适当波长的光进行照射时,载流子在亮区受激发而移动。载流子在晶体中迁移,随后在新地方被捕获,形成空间电荷场,从而产生折射率调制的位相型光栅。光激发载流子具有三种迁移机制:扩散机制、漂移机制和光生伏打效应。此外电荷迁移情况还受掺杂、热处理和实验参数选择的影响(例如光强、波长、晶体温度等)。如果对光折变晶体进行均匀照明或加热,被俘获的电荷就会释放出来,并且擦除空间电荷场,这种可逆性适用于可擦重写全息存储。常见的光折变晶体主要有掺铁铌酸锂晶体( $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$ )、铌酸锶钡晶体(SBN)和钛酸钡晶体( $\text{BaTiO}_3$ )等。相对于先前的记录材料,光折变晶体具有动态范围大、存储时间长、可以擦除以及生长工艺成熟等优点,因此,光折变材料可用于全息光存储和全息信息处理。

但是相对商用大容量的存储应用,光折变晶体的动态范围还不够大、光敏感度较低、易失性读取。最近,研究者通过双掺杂的方法实现了非易失性读取<sup>[2]</sup>,其他问题还在研究中。另外,光折变聚合物也受到关注,但由于需要施加电场,限制了它在全息存储领域的应用。所以,光折变晶体和光折变聚合物主要应用于光学信息处理领域。

## 四、复用技术<sup>[3]</sup>

近30年来,为了充分利用全息存储的优点,对存储的方案也进行了卓有成效的研究。存储方案主要是指复用技术,即如何能存储尽可能多的全息图,同时又能保证存储器的性能。

### 1、平面全息图的复用—空间复用

将页面信息的傅里叶全息图阵列记录在存储材料的不同



的空间区域,这是发展得最早的复用技术,主要适合于平面型记录材料。其优点是:由于相邻全息图在空间是不重叠的,再现出的页面之间可以完全避免串象噪音;每个全息图的衍射效率都可以达到单个全息图存储所能得到的最大(饱和)衍射效率;由于所有的全息图可以采用相同的参考光角度,记录光路和设备相对简单。单纯空间复用的主要缺点是不能充分利用材料的厚度(体积),因而存储容量有限。

## 2、体全息图的复用

体全息图的复用指的是如何在材料的共同体积中容纳尽可能多的全息图,又不引起较严重的串象。这里先介绍单一的复用技术。

### (1) 角度复用

这是使用最早、研究最充分的复用技术。在记录材料的同一空间区域上,有许多全息图(每个全息图包含一个信息页面)叠加在一起。每个全息图用各自不同的物光和参考光夹角写入和读出,但都使用固定的波长,可以采用的角度调整方法主要有旋转反射镜和声光偏转器。

早在1975年,就有在 $1\text{cm}^3$ 体积的 $\text{Fe}:\text{LiNbO}_3$ 晶体中记录并固定了500个全息图报道,但衍射效率很不均匀<sup>[4-5]</sup>。1993年相继报道了在 $3\text{cm}^3$ 晶体中采用角度复用存储了1000个和5000个高分辨率图像,使存储的位容量达到 $3.5 \times 10^8$  bit/ $\text{cm}^3$ ,但平均衍射效率只有 $4 \times 10^{-6}$ <sup>[6]</sup>。角度复用存储的全息图数目越多,平均衍射效率就越低,且不可避免的串象噪音累加起来会使再现像的信噪比下降,这些因素都会限制角度复用技术可以实现的存储容量。

### (2) 位相复用

为了克服角度复用技术串象噪音较大的缺点,1991年Denz等提出正交位相编码复用技术的概念,并在1993年实现64个图像的编码位相存储<sup>[7]</sup>。在这种技术中,所有全息图都采用固定的波长和光束角度,但用各自不同的正交位相编码的参考光束写入和读出。

正交位相编码的概念是:每个全息图的参考光由一组 $N$ 个平面波束的集合组成,对其中每个光束都进行纯位相调制,即相对位相延迟非0即 $\pi$ ,每一组这样的光束集合代表一个存储图像的地址,并且和其他所有的地址都正交,这种正交性在于,用一组位相编码的参考光再现时,该组中所有 $N$ 个光束被存储的全息图中的一个全息图衍射叠加后得到最大的衍射效率,而用另一组位相编码的参考光束再现这同一个全息图,会得到极低的衍射效率。位相复用还使全息图的寻址可通过改变光束的位相而不是改变光束的方向来实现。使寻址过程更快。

### (3) 波长复用

由于体全息图的再现对波长也十分敏感,因而波长复用也是体全息存储的主要复用方式之一。一般地说,当采用波长复用时,每个全息图用不同波长的光写入与读出,但都采用相同的角度。

1992年,Rakuljic等提出正交波长复用的概念,即采用反射全息的光路<sup>[8]</sup>。这种光路构型使得全息图之间的串象噪音不会因为页面信息量的增加而增加,因而可以实现比角度复用更高的位容量。在他们的原理性实验中,采用可调谐染料激光器( $\lambda=641.7\text{nm}$ ),以 $2\text{nm}$ 的波长间隔在 $\text{LiNbO}_3$ 晶体中记录了两幅高分辨率的集成电路掩膜图像,最细的线条仅有 $1\mu\text{m}$ 宽。实验测出的串象噪音小于 $-40\text{dB}$ ,实际上相当于两个简单平面光栅之间的串象噪音。由于这种对串象噪音的抑制能力,以及波长调谐寻址技术有可能避免机械运动,使人们对波长复用技术十分关注<sup>[9]</sup>。

## 3、混合的全息存储复用技术

由于体全息存储可以是多种复用方式,故有可能将任意两种或多种复用技术相结合以便充分利用每种技术的优点。下面简要介绍几种主要的类型。

### (1) 分块全息存储(Block-oriented Holographic Storage, BOHS)

这种技术的基本思路是将记录材料划分成不同的空间区域或称“块”,在每一块中采用纯角度或纯波长存储。这样有利于缓解光学系统不能提供足够的参考光角度或足够的独立波长数目,以及材料的动态范围有限不能在同一体积中容纳足够多的全息图等困难。最近的成功例子是,在长条形晶体中存储了10000个全息图,使存储容量高达 $2.1\text{Gbit}$ 。Li等人也在BOHS的基础上提出全息存储盘的设想<sup>[10]</sup>,按照他们的推算,这种全息存储盘的面存储密度每平方微米可以超过 $100\text{bit}$ ,即比当前的光盘存储高两个数量级。

### (2) 空间角度复用(Spatioangular Multiplexing, SAM)

这是北京工业大学陶世荃项目组于1993年提出的复用方案。SAM将空间复用和角度复用以一种新颖的方式结合在一起,允许相邻的全息图在空间上部分地重叠,而相互间以不同的参考光予以鉴别。采用这种方法,衍射效率比单纯角度复用大为提高,存储容量与BOHS接近<sup>[11]</sup>。实现SAM存储方案可采用平面参考波或球面参考波,它们分别适用于并行光学处理和盘式全息存储。

### (3) 稀疏波长-角度复用(Sparse-wavelength Angular Multiplexing, SWAM)

这是将波长复用与角度复用相结合的一种混合复用方

案,由 Campbell 等人于 1994 年提出<sup>[12]</sup>。由耦合波理论可知,密集的波长复用不能与密集的角度复用同时实现。SWAM 系统采用大量相隔甚密的参考光角度,但使用少量相隔较大的分立波长,以保证形成的光栅矢量互不重叠。这种混合系统缓解了纯波长复用对可调谐激光器的要求,以及纯角度复用对光学系统数值孔径的要求,又能有效地改善全息存储的信息传输率。在 Campbell 等人的实验中使用了 400 个角度和氩离子激光器在蓝绿波段发射的 5 个分立的波长,实现存储总容量 4.68Gbit,存储密度为 2.5Gbit/cm<sup>3</sup>,平均衍射效率为 1.25×10<sup>-5</sup>。

## 五、结束语

当前磁盘、光盘和半导体存储仍然是数据存储技术的主流,随着信息社会的飞速发展,现代计算机速度的迅速提高,对高密度信息存储的需求愈为迫切。两院院士王大珩先生曾精辟地指出“20 世纪是微电子的世纪,21 世纪将是光子的世纪”。光的速度、光的精度、光的色度和亮度将成为这个时代的特征;光学将成为穿越宏观世界和深入微观世界的重要工具。伴随着这一时代进程,全息存储必将在科学研究和社会生活的各方面发挥重大的作用。近年来,民用光电子技术的快速发展带动了全息存储相关技术的发展。全息存储技术已走出实验室,无论在存储材料、方法和系统方面都在朝实用技术的方向不断前进。

## 参考文献

- [1] 郝明钊,曹良才,何庆声等.高性能光致聚合物材料与全息光存储[J].记录媒体技术,2008,(1):60-64.
- [2] K.Buse, A.Abibi, and D.Psaltis, Non-volatile holographic storage in doubly doped lithium niobate crystals[J] Nature, 1998, 393: 665-668.
- [3] 陶世荃.物理高密度光学全息存储技术的新进展-向光盘存储挑战[J].物理,1997 (2): 79-85.
- [4] W. Yuan, Development of the library in form of holography[J]. SPIE, 1992,1731: 13
- [5] D.L.Staebler et al., Multiple storage and erasure of fixed hologram in Fe-doped LiNbO<sub>3</sub>[J]. Appl. Phys. Lett., 1975,26(4): 182-184.
- [6] F.H.Mok, Angle multiplexed storage of 5000 holograms in lithium niobate[J], Opt. Lett., 1993,18: 915-917.
- [7] C.Denz, G.Paulia and G.Roosen, Volume hologram multiplexing using a deterministic phase encoding method[J]. Opt. Commun., 1991,85:171-176.
- [8]G.A.Rakuljik, V Leyva and A.Yanv, Optical data storage using orthogonal wavelength multiplexed volume holograms[J]. Opt. Lett., 1992,17:1471-1473.
- [9]S.Yin et al. Holographic storage using shift multiplexing[J].Opt

Commun., 1993,101:317.

[10] H.Y.S.Li and D.Psaltis. Three-dimensional holographic disks[J], Appl.Opt., 1994,33: 3764.

[11]S.Tao et al., Spatioangular multiplexing scheme for dense holographic storage[J]. Appl. Opt., 1995, 34:6729-6737.

[12]S.Campbell, X. Yi and P.Yeh., Hybrid sparse wavelength angle multiplexed optical data storage system[J]. Opt. Lett., 1994,19:2161-2163.

## Light-sensitive holographic storage materials and technologies for fast read-writing of mass information

MA Chen

(33<sup>rd</sup>. Institute, China Electronics Technology Group Corporation, Taiyuan 030006, China)

**Abstract:** In this paper, the holographic storage mechanism and characteristics are expounded. Flat and volume holographic storage materials are introduced and analyzed in detail. Recent advances in this area, various multiplexing technologies which aim at high storage capacity and low cross-talk noise, are reviewed. Holographic storage technology, with its high storage capacity and data transferring rate, is expected to become the next generation of potential mass storage media.

**Keywords:** holographic storage; cross-talk noise; multiplexing technologies

## 作者简介

马晨,中国电子科技集团公司第三十三研究所,工程师,研究方向:光全息存储材料及技术

通讯地址:山西省太原市长风街 68 号 100 信箱

邮编:030006

Email:machen06@163.com

读者服务卡编号 001