

光 存 储 器

前 言

通常认为用光记录信息并使之再现的装置叫光存储器。在谈正题之前，先给出光存储器确切的定义。狭义的定义是指采用光学技术来记录和再生二进制信息的计算机存储器。广义的定义是：用光来记录并保存信息的元件及包括各种常用的照相或电影胶片的所有设备。

本文取其折衷定义如下：光存储器是用光记录、保存信息的元件，并与电子计算机或视频系统等电子学技术相结合以发挥其性能的装置。

光存储器通常是由（1）光源；（2）信息形成；（3）信息存储部分；（4）信息探测部分；（5）联接各组成部分的传递系统；（6）信息的选择与控制部分等构成的。总体结构的各组成部分的形态机能可根据存储器的用途、目的来选择。由于它对材料的依赖性较大，因此伴随材料的发展演变，使得存储器的总体结构与元件也正发生较大的变化。

信息记录是存储器的核心部分，光存储技术与存储材料是它的两大支柱。早期的光存储技术主要是采用直接储存方式，即将信息如实地记录下来。而后不久，随着全息技术的出现，光存储器开始发挥出许多前所未有的特点。存储材料方面陆续出现了取代过去的银盐材料的新材料，预期将会产生信息可擦除重写等具有吸引力的新机能。

因此，本文对光存储器的各种方式、特点进行归纳，再以具体的实用例说明迄今为

止的光存储技术的演变过程，然后阐明今后的发展方向和主要问题。

1. 分类与特点

1.1 以信息源分类

根据作为存贮对象的信息种类可分为（1）数字信息存储器和（2）模拟信息存储器这两大类，对应于这种分类，其信息形成、信息存储、信息探测等也各不相同。信息形成部分，在模拟式通常采用照相底片这类构成图像的元件；而数字信息式则采用穿孔板、空间调制元件。关于空间调制元件将在后面详述，它通常具有把输入电信号转换为光信号的机能。在信息存储部分中，大部分装置数字—模拟两种信息均可贮存，其中也有的装置只能用于数字信息。如用光的热效应作穿孔带的打孔机等。

信息探测部分，对模拟信息通常用光导管、飞点扫描管等摄像管，有时也用人眼直接在屏幕上观察信息。对于数字信息有光电检测等实时探测系统和光导管这类时间系列的探测系统。

1.2 以信息记录方式分类

可分为（1）直接记录方式和（2）全息记录方式两大类。直接记录方式与信息种类无关，用其自身的形式来记录；全息方式是以干涉条纹的形式来记录信息的波面。二者的存储机构大不相同，因而其机能、用途等也各不相同，为了说明这一点，现将光存储器的一般特征及各种方式的不同特点归纳如下。

1、3 光存储器的主要特点:

表1. 作为信息存储元件的全息照相的特点

- (1) 利用波面信息, 可以记忆 3 维信息
- (2) 用立体存储材料, 可在很小的空间内存储大量的信息。
- (3) 存储机构有效期长, 伤痕或灰尘造成的信息损失微小。
- (4) 具有自身成像作用, 可简单、高速地读取信息。
- (5) 信息的记录中不需要高分辨率的镜头。
- (6) 对模拟、数字及混合信息几乎可等效处理。
- (7) 可将若干信息在同一空间内重叠存储。
- (8) 有可能研制出联想存储器。
- (9) 复印过程简便。

(1) 并列处理能力

光的传递是在空间进行的, 所以进行信息的 2 维存储, 能够高速处理大量的信息。

(2) 高密度存储器

考虑到光的短波特点, 用透镜等方法在衍射极限下存储信息要比其它存储方法的存储密度高。得到证实的密度达 10^5 位/毫米²。

(3) 性能

利用光的衍射、干涉等特性可研究出联想存储器, 功能存储器等。尤其是全息存储方式采用的是波面记忆, 具有像的位置固定, 自身成像的功能。

(4) 显示性能

最终用视觉读取的信息不用转换为电信号、而仍以它原来的形态进行存贮。特别是对于模拟信息的场合更是高效率的存储机构。

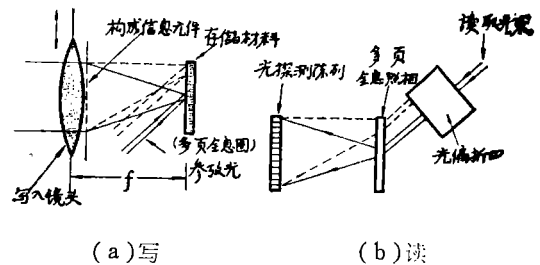
上述光存储器的特点, 在实用装置上的表现, 举例如下。

2. 早期的光存储器

早期的光存储器在其各特点中主要着眼于它的高密度存储特性, 作为电子计算机外存储器等, 以保存大量的信息。具体地说, 这项工作的开展大多在1964年这一时期。这

类存储器方法简单, 存储时以激光光点高密度地把 2 进制数码记录在胶片上, 再以飞点扫描方式从存储板上读取。这类存储技术后来也获得了稳步的发展。但是, 使光存储技术的固有特点更为明显地表现出来的原因, 应当归功于 1962 年以后激光全息技术的出现。

正像前面说过的那样, 全息照相把带有信息的光和与此相干的第二束光进行干涉, 产生干涉条纹并记录在感光材料上。全息存储器作为信息存储元件所具有的特点具体如表 1 所示。IBM的Vitols¹⁾、BTL的Auderbon²⁾、Smits³⁾ 等人曾把激光全息技术用于电子计算机的存储器上。他们提出的光存储系统的方案如图 1 (a)、(b)所示。



(a)写 (b)读
图 1 全息照相存储器基本形式

(a)是信息的记录图, 镜头将一页信息聚在感光材料上, 使这个光和参考光干涉形成一个全息图。然后再记录另一页的信息, 在如图所示的方向上移动一下透镜使之在感光材料的另一处形成全息图。同样, 从许多全息图中读取信息的方法如图 1 (b)所示。用来读取的激光光束照射在全息图上, 全息图发出衍射波、通过自身成像作用, 使再生像成像在光探测器阵列上。光探测器阵列把这个光像转换成电信号, 向计算机输入所需的信息。

要读取另一页信息时, 光偏折器动作, 光路也就随着更换, 这种结构的信息读取方法原理简单, 引人注目, 并以高速进行。换言之, 读取速度基本上定由光偏折器对光路的偏转速度所确定的 (但光探测器的响应速度通常要比光路转换速度快 2—3 个数量级);

这个速度，用电光元件或声光元件能很容易地接近 $1 \mu s$ 的范围。例如：1 块大小与 100 毫米 \times 100 毫米的存储板如存储密度为 10^4 位/毫米²（记录密度最高达到 10^5 位/毫米²）的话，可记录 10^8 位的信息，因此可实现总容量为 10^8 位，读取速度为 $1 \mu s$ 左右的大容量高速存储器。

如图 2，对以前的光存储器做个比较，可看出光存储器能够实现以前的存储技术难以实现的大容量、高速度。由于这个背景，全息存储器的研究曾经风行一时。各国著名的研究机构如美国的国际商业机械公司⁴⁾、贝尔电话实验室、美国无线电公司⁶⁾、Harris Intertype⁷⁾、英国的 The Plessey⁸⁾、法国的西门子、法国的 Thomson CSF¹⁰⁾、苏联的波波夫学会¹¹⁾ 等，几乎都毫无例外地开始从事这方面的研究。

日本国内的电通公司——武藏野研¹²⁾、日立¹³⁾、富士通¹⁴⁾ 等也在进行研究。随着光存储器（特别是全息存储器）的发展，这种

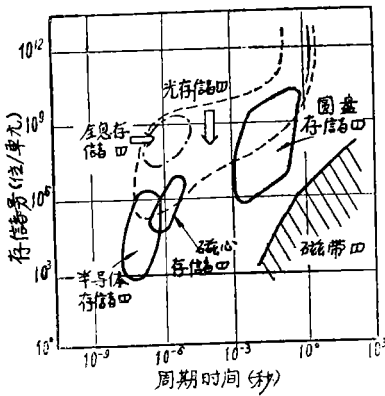


图 2 光存储器有待发展的领域

盛极一时的研究暴露出技术上的难点，而产生了悲观的论点。

3. 光存储器发展现状

光存储器的发展与当初的愿望相反，不久就遇到了困难，于是不得不重新修正研究方案。困难有两点：

(1) 根据目前的技术可制成容量为 10^7 — 10^8 位、速度为 $1 \mu s$ 精度的高速度只读存储器。但是只读存储器限制了用途，而且成本为 0.3ϕ (一日元)/位。从这点考虑，要比磁盘存储器的成本高 2—3 个数量级。

(2) 目前，构成全息存储系统的元件、材料的可靠性都很差，作为一个整体应用在可靠性要求很高的存储系统中还不充分。并且这些元件的材料，从整个系统上考虑，其中每一项的可靠性都应当很高，在发展不平衡过程中不可能构成实际应用的系统，由于碰到了这个较大的问题，就不得不再一次推敲光存储器的意义，在现有条件下有必要论证光存储器的用途。

1973 年 3 月，在美国的 Aspen 召开的数学数据光学储存会议上，在光学存储器方面具有代表性的各国学者之间开展了有关光存储器方向的讨论，并得到下面两点结论¹⁵⁾。

1. 高密度存储技术的产生是以 10^{11} 位以上的大容量存储为目的的。这种情况下，读取速度要求不高，就是说，像卷照相胶片那样的时间序列依读取是可以的，但成本必须非常低廉。考虑到磁盘存储器的动向，希望成本能保持在 10^{-5} (3×10^{-3} 钱，美分/位) 以下。

2. 光存储器与其它存储器不同，它具有 2 维信息校验、识别等 2 维机能或图像显示等人—机两者结合的机能。应当考虑发展充分具有这些特点的系统。

如何在装置的实际应用中，将上述趋势发挥出来，具体举例说明如下。按信息源分类把目前的光存储器归纳为表 2，并对表 2 作补充说明。

(1) 大容量 (10^{12} 位) 的光存储以 Unicon 690¹⁰⁾ 为例，该存储器的基本记录动作是用氩激光束照射蒸镀在聚脂带上的铯膜，使这部分金属蒸发穿孔，这是一种非可逆过程。读取动作也是用氩激光的反射来检测有无小孔。如果 1 位的直径小到 3μ 左右，记录密度能够达到 10^5 位/毫米²。要用氩激光

表 2 光存储器研制状况

机 能	用 途	方 法
数字存储器		
(1) 多与 ROM* 10 ¹⁰ —10 ¹¹ 位	资料保存	{位记录式 (全息式)
(2) 读—写—擦 10 ³ —10 ¹⁰ 位	低速缓冲存储器	位记忆式
(3) 只读式存储器 10 ⁵ —10 ¹⁰ 位	高速程序存储	位记录式
模拟混合存储器		
(4) 人 读	资料保存	{微缩胶片 COM
(5) 人读与机读	资料保存	{全息式 微缩胶片式
(6) 并行信息检索	信息检索	全息式
(7) 图形校验(识别)	{光学文字读取 指纹校验 信用卡卡校验等	{全息式 全息式 全息式
(8) 图形输入输出装置	牌子 排版机	{全息式 全息式
(9) 图像声音外存储器	视频组件	全息式 位记录式

* 意味着不用重写的存储器(只读存储器)
ROM:只读存储器(Reed Only Memory)

准确地读出小孔的有无必须精密地跟踪,为此用于读取的氦激光位置的检查和位置控制是个大问题。

装置结构如图 3 所示,带全长31.25吋,宽 4.75吋,1 卷带拥有的信息量 2.5×10⁹ 位。把它缠在400卷的转鼓上,组成一个10¹²位存储器,此外,把数量如此之大的数据每一位都直接记录下来(以下称为直接成像型)中的关键问题是控制光束的位置以便准确无误地读取高密度记录下来的信息。为此,西门子、Horris Intertype 等公司正开始研究把它们整理为以10²—10⁴位为单位转换成全息图的方式。

(2) 是所谓“光盘”的方案。即在

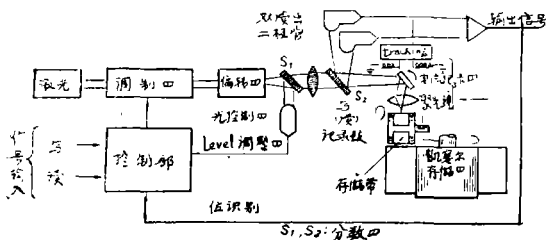


图 3

MnBi 之类金属或具有法拉第效应的磁光材料上照射激光和加上磁场来记录信息。对比, Honeywell公司等已进行过讨论¹⁷⁾。但由于普通的磁盘记录密度的逐步提高,它在记录密度上的优越性只有 1 个数量级。

(3) 在模拟图像存储器方面与硅半导体元件的直接竞争中,以往研制出的总容量为 10⁵ 位的小型 1 点式存储器,光电二极管光探测器、光学纤维的组合体在成本方面的优越性是不能无限发展的。

(4) 在模拟图像存储器中信息处理系统末端常用的是微缩胶片、微缩卡之类、超微缩胶片像的缩小率达 1/100 倍¹⁸⁾,记录密度近乎达到接近光波长和镜头孔径之比确定的衍射极限。但是困难的是在胶片的记录过程中需要高分辨率、高性能的镜头,读出时放大镜调焦很麻烦等。斯伯里兰德公司¹⁹⁾、日立²⁰⁾等厂家,正进行以具有成像作用的全息方式代替放大镜读取方案的研究并提出基础研究报告。

(5) HRMR (人读机读)的方案:这种方案的方法是把检索卡作为全息的数字存储记录在普通的微缩胶片上。它是由 Harris Intevtype 公司制成的。表 3 表示这个系统的规格。

表 3 HRMR 的规格

胶片大小(全部)	100×150毫米 ² (普通微缩卡)
全息图面积(全部)	6.4×125毫米 ²
数字信息量	2.5×10 ⁶ 位
平均记录密度	4×10 ³ 位/毫米 ²
输入数据传递速度	2.5×10 ⁵ 位/s
输出数据传递速度	5×10 ⁵ 位/s

(6) 并列信息检索装置:应用在光学式联想存储器的信息检索方面,电总研²²⁾、东芝审查过它的具体内容,任何一种存储器的全息图都是用全息方式记录这页地址所携带的某种信息的存在空间。激光照射到这一页上使这一空间的相反的号码重现,没有号码重现处就是记录信息的空间。这种操作可以并列地扩张。

盘的同时，激光照射到对应键盘的汉字的全息图上，这种装置的结构与“全息板”相同。

另一方面，冲电气²⁹⁾、东洋レーヨン等公司研制出一种存储器，能把计算机发出的信号转换成人眼读取的文字信息。计算机发出相应于某种文字的代码，含有该文字的全息图就被选中，组成文字的密度大约为1000位，由激光重现在光导管上，再由显象管或点式打字印排成便于人读的文章。

美国无线电公司公布一种印刷排字机，使用这种装置时的各全息图以模拟信息的形式记录文字，以笔顺变换输入代码来产生地址。但实用情况不详。

作为图像声音外存储器方面的应用，由于用于视频箱等方面，使得各研究单位都热衷于光存储器的方案，署名 VLP 公布的菲利浦视频系统采用和录音时相同的方法以二进制代码（凹凸）记录视频信息。它能把30分以上的彩色电视信息与声音同时记录在LP记录板上。这才是真正的高密度存储器。由于激光束的间距为 1μ ，这种存储器用这样窄的间距顺着已排列好的信息去跟踪，在技术上较为困难。

因而，在这方面还有待于全息技术的发展。但是对于具有中间调和色彩，而且频带很宽的图像，在制作高密度图像的信息过程中，必须要有高超的全息照相技术。在这方面技术上较为著名的是美国无线电公司公布的“选择视觉器”（Selecta Vision）（后改名为 Holotape³¹⁾），它是用光阻材料制出全息图，以凹凸面来记录信息，再以镍之类的金属做成屏蔽图形，冲压复制成聚乙烯带。

据说，它将作为家庭使用的视频装置，这个视频带的每帧图像由两个面积为 14×7 毫米²的全息图组成。用一个全息照片来记录图像的辉度信息，另一个全息照片则记录彩色信息。图6所示的是这个全息图的再现过程。首先用小型 He—Ne 激光照射视频带，从带上分别再现图象的辉度信息和彩色信

息，并成像于“2帧光导管”上。

这样取出的信号，通过合成电路在家庭彩色电视接收器上成像，从经济角度看，这种视频组件的最大优点在于有可能改进成早期的、较为便宜的带状形状。但由于这方面

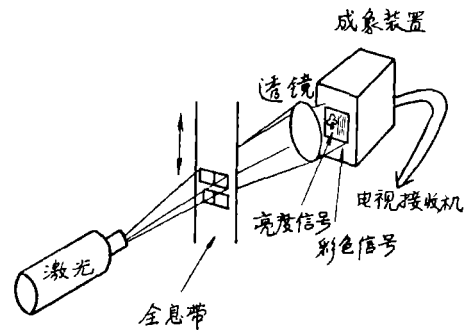


图6 “选择视觉器”的再生方法

的市场情况较为复杂，还不能完全取代磁带录象机和EVR。

4. 发展方向和问题

迄今为止已研制成的光存储器，不论哪一种都是借助于单元结构的技术及材料以某种形式做出并表现为光存储器的特点。但是要求各单元具有最高性能的同时，并不等于说可靠性充分，加上各单元相互间的技术水平不等，所以整体系统水平是由单元的最低水平决定的。

这些单元技术的水平达到一致时，当然可制成完美的存储系统，但不能期望很快就实用化。目前光存储器发展的正确方向，并不是一定要成熟的各单元技术为核心来发展整体技术，而应当分阶段地实现充分具有光存储器独特特征的系统。从这种观点看问题，作者预见光存储器的发展可分为两个阶段，即先在只读存储器（ROM）方面发展全息数字系统或模拟混合存储器，然后在读写抹的（RWEM）方面发展同类存储器。

为此，第一步必须发展在激光束中实时地构成携带信息的空间调制器（称为“页组合器”）和必须发展高超的全息照相技术（消

除斑纹效应)。预计这两者在今后 2—3 年内能同时获得相当普遍的应用技术。

第二阶段要求的是可逆感光材料。多数人的看法是即使付出很大代价，在今后 3—4 年内也不会出现较理想的产品。而它却是数字存储器中必不可少的条件。上述情况列成表 4。

4.1 光学空间调制元件的发展状况

实现全息存储系统的最大阻碍因素之一就是光的空间调制器。空间调制元件或叫

“页组合器”其基本动作是把信息源发出的电信号载入光束，形成 2 维图像。

以下主要说明数字空间调制元件，它通常以矩阵方式驱动，对应矩阵排列的元件，按照行与列给出电压，电路在行电压和列电压重合的地方把信息记录下来。这时对各单元元件特性要求如下：

- (1) 用电信号稳定地改变透过光的特性。
- (2) 转换电压可存在阈值、或相当阈值电压的值。

表 4 光存储器的展望

按时代划分的构成技术 光存储器种类	现代采用的技术	近期将采用的技术	有待将来采用的技术	
直接成像式 数字 或 模拟 混合式	ROM (只读存储器)			
	激光光源			
	感光材料			
	透镜类			
全息式 数字 或 模拟 混合式	RWEM (随机存储器)		可逆感光材料	
	ROM (只读存储器)			
	激光光源			
	感光材料			
	光偏折器			
	光探测器	空间调制器		
		全息术		
		(解决斑纹噪音的方法)		
		RWEM (随机存储器)		可逆感光材料
			半导体激光阵列	

- (3) 可记录转换状态。
- (4) 顺逆转换速度均在规定的数值以上。
- (5) 光学透明度好, 产生杂音少。
- (6) 加工性良好。
- (7) 寿命长。

目前, 正在研制中的称为PLZT的透明陶瓷³²⁾和 $Gd_2(MoO_4)_3$ ³³⁾、 $Bi_4Ti_3O_{12}$ ³⁵⁾ 这类单晶是合乎上述要求、引人注目的材料。另外, 液晶也是大有希望的, 其它还有用电荷控制其他的薄膜金属曲率的方法³⁴⁾和利用GdS晶体热电效应的方法³⁶⁾。在这些情况下, 通过与半导体激光的配合, 保持阈值。在挠性材料上变频器发出超声波的行波中组成信息, 参量光的偏折方法是个新动向。

还有用电子束控制强诱电体表面电荷的方法, 形成高分辨率的图面, 可作为输入图像等模拟信息空间的调制元件。发展趋势如表5所示, 并附有关于这种元件最近发表的连续试制模型的数据。

法国CEA的研究报告是利用液晶双折

射的方法, 用每次一帧式制作 32×32 的数字空间调制器³⁸⁾。日立报告的内容是用 $Gd_2(MoO_4)_3$ 晶体, 根据每次一帧式研制 8×8 的数字空间的调制器, 以及根据每次一线式研制 32×32 的数字空间调制器。Harris Intertype报告的内容是用PLZT研制 32×32 的每次一帧式的数字空间调制元件。此外, Harris Intertype还研制出用途稍有限制、利用挠性玻璃传递信息、速度达500M位/S的高速数据混合器。通过深入研究, 决定在不同的条件下使用不同的装置, 这就解决了一个长期以来悬而未决的问题。

4.2 解决全息斑纹噪音的现状

信息全息记录中的难题之一就是全息技术本身的不完善, 特别是胶片等提供1次信息作成高密度全息图的再现信息中, 一般都会在图像上出现斑纹噪音的现象。

解决的方法: (1)制成斑纹噪音互相独立产生的若干个全息图, 使之同时再现⁴⁰⁾; (2)预先加上限定信息带宽的相位板(如:

表5 数字光空间调制元件的发展状况

检查项目 趋势	工作方式	速度		工作电压	阈值	有效 无存 储应	光透 过率	信 噪 比	寿 命	加工性能
		单 位	1页 (100×100)							
1)强诱电强弹性 透明陶瓷 PLZT	(I)双折射	1-10μs	100μs~1ms	50~ 200v	有	有	高	10~100	有问题	普通
	(II)散射	1-10μs	100μs~1ms	100~ 200v	有	有	低	10~100	有问题	普通
2)强诱电强弹性 单晶 $Gd_2(MoO_4)_3$ $Bi_4Ti_3O_{12}$	双折射	100μs~1ms	10ms~ 100ms	200v	有	有	高	10 ² ~10 ⁴	没问题	普通 (不适于大面积)
	双折射	1μs~10μs	100μs~1ms	70v	有	有	低	300	没问题	很难
3)液晶 Nemttic Liquid Crystal	(I)散射	~100ms	~1s	~10v	无*	无	高	10 ²	有问题	简单
	(II)双折射	0.3ms	30ms	~10v	有**	有**	高	10 ²	没问题	简单
4)诱电晶体 +电子束 Tuitas	双折射		30ms	100v	无	有 (电 容 器 变 化)	高	10 ² ~10 ⁴	没问题	普通 (大型)
	(反射式)									
5) Membrane	光路转换 (反射型)		<100μs	~100v	无	有 (有)	高	良好	没问题	困难

* 可以加在电路中

** 瞬时的

相位光栅等),再以透镜聚光作成全息图^[41];这些方案的提出,虽然都取得了不同程度的成果,但普遍存在的缺点是为了保证重现现象的质量而损失了全息图的记录密度。

最近完善起来的“随机相位采样法”是一种避免这种折衷方式的行之有效的办法。

图7是它的原理图。

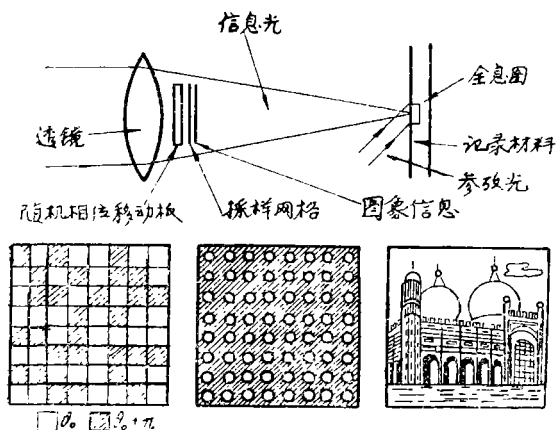


图7 随机相位采样法原理图

这个方法对需要记录的图像信息与采样网格,随机相位移动板紧密放置在会聚的激光光束中,通过这个系统的激光束受到相应于信息分布的振幅调制。与此同时,采样网格周期性地分割光束。相位移动板给各采样光束加上随机相位,聚焦在记录材料上与参考光束一起制成全息图。

以这种方式作出的全息图的直径等于激光波长与镜头F使所决定的衍射极限,而且内部的信息光分布是均匀的。这是因为在分割图像信息的采样过程中,信息中携带的大量的低频成分与相应于采样孔径的频谱分布一样,被分散了。由于各采样光束中附加了随机相位,消除了光束之间的自相干效应,信息均匀地分布在全息图表面上,

全息图产生于光束的焦面上,如果固定光学系统的参数,其直径可只凭对应采样孔径的埃利圆盘直径确定,这个直径是能够符合信息所要求的分辨率规定的最小值,而且其内径所必须的信息光能也几乎全被包括。这种方法的特点是:

(1)从理论上说作出的全息图不产生斑纹噪音。

(2)记录达到衍射极限的高密度信息。

(3)若按采样定理分割信息,可充分保证必要的分辨率。

实际上对1个图象采样100万个点,可做出直径约2毫米的高密度全息图。它正成为模拟或混合信息高密度存储器的一个手段。

4.3 随机感光材料发展状况。

从发展趋势来看,全息存储器终将大大地改变计算机的存储部分,而随机感光材料是个前提。现有的各种感光材料的动向和性能如表6所示,表中还列出具有代表性的全息固定材料以便于比较。总而言之,就目前来看,不论哪一类还都存在着本质上的缺陷。

(1)像KCl、KBr这类为人熟知的卤化物是普通照相材料,这种物质的光谱吸收特性会随着光的变化而发生可逆变化^[42]。缺点通常是由于读出时激光使材料受热失去信息等,稳定性较差。

(2)热塑料材料:导电膜、光电导膜、热塑料、导电膜、按这个顺序涂敷在玻璃基板上。当表面上产生电荷之后,全息图^[44]记录在光电导膜上。当导电膜中通过电流时产生的热使热塑料软化,热塑料上的曝光较强部位由于光电导膜作用,强大的空间电荷引力引起局部变形。信息读取时使光产生相应的位相变化。用长时间加热的方法去消除信息。存在的问题是重复次数有限,信息消除费时间。

(3)磁光材料(利用居里点):在MnBi这类强磁性物质的胶片上进行极化取向并附加反向磁场。这时用强激光在膜上作成全息图,则对光吸收较强部分的温度以瞬时方式超过居里点,冷却过程中极化取向形成外磁场的方向。如用光去读出这个状态,可利用克尔效应,法拉第效应这类光的电场矢量旋

表 6 各种感光材料的发展趋势和评价问题

(※ 没有问题; ○ 改进后可供使用;)
(△ 存在问题; × 根本不行。)

类别	评价项目 物质	灵敏度 (ml/m^2)	需要时间		空间频率 特性 (线/毫米)	线形 特性	杂音 特性	吸收 特性	再生效率 (信息量) (%)	重复特性		处理 难易度	稳定 性	再 现 性	变形 特性
			写 (S)	涂 (S)						写	读				
固定 记忆 材料	银盐 (与漂白法同用)	0.1 ※	10^{-8} ※		>2000 ※	○	○	※	~20 ※		∞ ※	※	○	※	○
	重铬酸盐明胶	10 ○	10^{-1} ※		>2000 ※	○	○	※	~20 ※		∞ ※	※	○	○	○
	光电阻 (488nm)	2.500 ○	10 ○		>4000 ※	△	○	※	~10 ○		∞ ※	○	※	○	○
可 逆 存 储 材 料	普通照相材料 (种类繁多) ex. KBr, KCl等	100 ○	1 ○	1 △	~10000 ※	※	○	△	2-3 △	∞ ※	可消 去 △	○	△	○	○
	热塑料+光电 导材料	10^{-3} ※	10^{-3} ※	1 △	1000 ※	※	○	※	~15 ※	100 ○	∞ ※	△	○	△	○
	磁光材料 (MnBi, EuO)	10 ○	10^{-11-8} ※	10 ※	~1000 ※	△	○	△	0.1~0.001 △	不定 ○	∞ ○	△	※	※	○
材	磁光晶体材料 (LiNbO ₃ +Fe)	> 10^3 △	>10 △	>10 △	~1,500 ※	○	○	○	>30 ※	∞ ※	注意 波长 ※	△	△	○	※
	强诱电、强弹性 (PLZT+光电 导材料)	10 ○	1 △	1 △	~50 △	△	○	○	0.01 △	△	○	○	△	○	○
	非晶半导体 (Te-Ge-Sb等)	10^2 ○	? ○	? ○	○	?	?	?	○	?	?	?	?	?	?

转量对极化取向的依赖关系⁴⁵⁾。缺点是要用大功率的脉冲激光写入以及读出时光的利用率较低。

(4)强诱电材料: 当前, 作为全息材料的物质, 与强磁性材料相对应的是人们正致力于强诱电材料的研究。基本元件是在两层强诱电体和光电导膜的两面上涂有透明电极⁴⁶⁾。作为强诱电体, PLZT 陶瓷可以考虑。方法是先使 PLZT 陶瓷的极化状态取向一致, 而后对反转不太充分的场合与取向方向同向加上一个电场。

随后用激光在光电导膜上作出全息图, 光强度较强部分产生电荷移动, 使有效电场场强增大。这一部位产生极化反转。读出仍然是根据光的电场矢量旋转量对极化方向的

依赖关系进行的。这组材料主要的问题是分辨率受区域宽度的限制以及特性的非线性。

(5)电光晶体: Sr_xBa_(1-x)NbO₃LiNbO₃这类晶体受强光照射时局部折[射]率发生变化, 这点已为人所知, 这是一种激光损伤现象, 可作如下解释: 晶体内产生的载流子受内电场影响而漂移, 低光强部位由于陷波效应产生局部电场。加热或用强电场使这个状态固定下来, 再以极强的电场将它消除。而这种情况下的问题, 特别是固定后再消去须要难以想象的高电压。

但是这种材料将给全息照相带来一个显著的特点, 就是把信息储存在立体记录材料中, 因此, Univac⁴⁷⁾、Thomson CSF⁴⁸⁾等热心于这个方向的发展和综合性研究。

(6) 无定形半导体：这种材料的信息记录机构如下：非晶质状态的薄膜被激光脉冲加热，当温度超过转移温度时使之冷却这部分就形成结晶。把结晶体加热到融点使之迅速冷却又还原成非晶体。这种材料处于结晶和非结晶状态下的吸光特性区别很大，因此可用它读出信息。

无定形半导体最早是由 AEC 公司研制成的。为人熟知的是 Te-Ge-Sb、Te-Ge-As 系玻璃⁴⁹⁾。最近电电公司。武藏野研又发现特性优良的 Ge-As-Se、Ge-As-S 系⁵⁰⁾；IBM 报导他们作了把 Te-Ge-As 系材料用于可逆工作方式并用半导体激光进行高速数据记录的

实验⁵¹⁾。这种材料还有许多问题没搞清楚，正因为这一点，它的前途也最为乐观。

结 语

想要尽快地实现标准的光存储系统，关键在于研究出可靠性高的部件。同样重要的是以目前的技术为轴心有步骤地开展研制工作，保证系统整体的水平。研究体制方面，各种技术互相关连的综合研究要比孤立地研究更为有效。

(译自《计测と制御》Vol. 13.

No.1 1974)