

# 光 存 储 材 料

李 培 俊

(中国科学院上海硅酸盐研究所)

计算技术是当代一门十分重要的新技术。目前计算机在各个领域里得到了广泛的应用。其根本的原因在于它能用电学的方法处理和存储大量的信息。随着科学技术的飞速发展,还要求计算机有能够处理更多数据的存储器即大容量存储器。

目前大多数的计算机中都采用磁性存储器——磁芯作内存,和辅助的磁鼓、磁盘、磁带等。经过了若干年的努力,它们在存储密度、存取速度等方面都有了显著的提高。拿磁芯来说,已经建立了大规模生产的技术,价格也不断下降,估计今后还会有些发展;但由于它是分立元件,费工,耗电多,要满足日益增长的要求,看来还是有限的。六十年代发展起来的半导体存储器,至今由于采用了集成电路特别是大规模集成电路,使它具有高速、可靠、功耗低、体积小等特点,因而出现了磁芯开始被半导体存储器所替代的趋势。

与此同时,利用其他一些技术来制造存储器,也在大力研究之中,例如利用磁泡、激光全息和超声技术等<sup>[1]</sup>,以期获得高速、大容量、廉价的存储器。

激光存储器是激光技术在存储装置中的新应用。它借激光束和存储材料相互作用,以光的方式进行信息写入与读出。按其原理,激光存储器有两大类:一类是基于普通照相原理以聚焦的激光束直接照射存储材料,在存储材料上记录激光束的光强分布,进行信息写入,然后以不同的方法进行读出;另一类则是基于全息照相原理的全息存储器。全息照相术不仅在存储材料上能记录光强信息,而且利用光的干涉现象记录光的相位信息,然后以光的衍射现象显示信息。大多数的研究者认为,计算机用的光存储器应以全息照相形式存储数字信息。

图1是一种全息存储器实验样机的示意图<sup>[1]</sup>。激光束借偏转系统投射到蝇眼透镜的 $x-y$ 阵的任一单元上,然后通过一个大的光阀阵。蝇眼透镜的作用是使每一个偏转光束都能照亮整个光阀阵,光阀阵的每一点按预先输入的电信息(二进制信息“1”或“0”)使光透过或不透过。这样光束在通过光阀阵以后,便成为载有信息的呈一定明暗分布的物光。然后物光与参考光在存储材料对应位置上交会并进行干涉便得到全息图。这个全息图称为一页,而上述光阀阵通常又称为

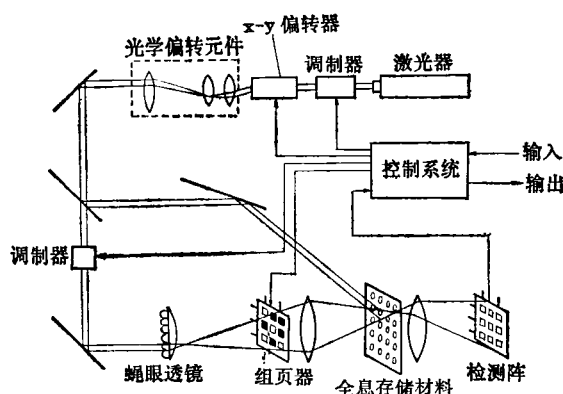


图1 全息存储器实验样机示意图

组页器,信息读出时只要用参考光照射该页全息图,将全息图的衍射像投到光检测阵上,它就能把光转换成电信号。

全息存储器具有下列许多优点:存储密度高,容量等于大的磁盘,具有适中的存取时间(1—10微秒),结构简单,操作方便,能够一下子传输整个一页的数据,无机械运动部分,存储材料上落一点灰尘或有微小擦痕也不致影响信息存储性能,可靠性高。

由于全息存储器具有这些优点,所以世界上许多国家均在大力开展研究。已试作了若干维型存储系统,但在激光束的偏转、组页器、存储材料、光检测器、激光束本身的强度等方面还存在不少问题。雏型结构离实用器件差距还很大。总之光存储器还处在幼年时期。目前比较一致的看法认为关键在于全息存储材料,也就是说目前还没有找到比较理想的能反复写擦的可逆存储材料。

具有全息存储功能的永久性存储材料有高分辨率的卤化银照相底板、光阻材料(含有光敏剂的有机材料)、重铬酸盐凝胶、光聚合物、金属膜(目前也在设法使其可逆化)等<sup>[1]</sup>,但感兴趣的是可反复写擦的可逆的存储材料。

目前正在研究的可逆存储材料有热塑料、磁光材料、金属膜、金属阳极钝化膜、光色材料、电光材料、非晶态膜等多种,现分别介绍于下。

## 一、热 塑 料<sup>[4]</sup>

采用热塑料膜作存储材料是基于对应全息干涉图案的光强变化使膜厚产生空间变化的机理。热塑料一般是非光敏性树脂,必须配以对光有响应的光导膜结构。

它的工作过程如图2所示。首先使热塑料膜表面上带均匀的静电电压,一般为几百伏,曝光后再次充电,这样光照射区的热塑料厚度方向上的电场增强。当瞬间将热塑料加热至接近软化点或熔点时,根据局部电场的大小,热塑料膜发生变形,急冷至室温,全息照相就以热塑料膜的厚度变化形式而写入。若将热塑料再次加热到比显影时更高的温度并保持一段较长的时间,就可将存入的信息擦除。

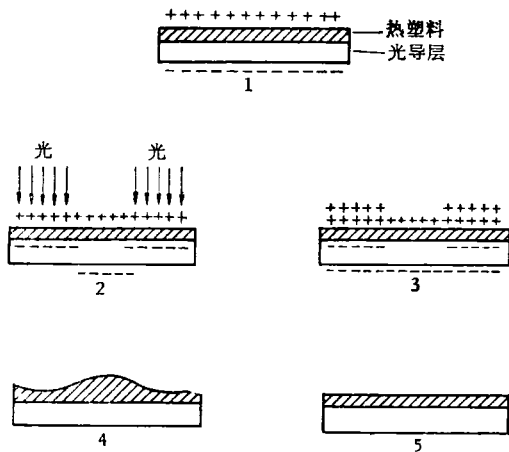


图2 热塑料-光导组合结构的工作过程

1.第一次充电 2.曝光 3.第二次充电 4.显影 5.擦除  
(为简单起见,图中省略了接地的透明导电层和玻璃底板)

热塑料-光导全息存储材料具有一系列重要的优点:

- 1.具有可与高分辨率卤化银照相底板相比的高灵敏度(写入能量为5—100微焦耳/厘米<sup>2</sup>);
- 2.获得的是相位型全息照相,故衍射效率高,可达35—40%;
- 3.分辨率大于4000条/毫米;
- 4.无颗粒散射噪声;
- 5.干法显影近于瞬时的;
- 6.全息照相可以复制,因为信息是呈表面浮雕状图案写入的。

但还有一些因素限制着它的广泛应用,例如写入设备复杂,厚度、充电、加热等的均匀性还存在问题,反复写擦的次数有限,写入擦除速度慢,环境温度高时信息就容易擦除等。

## 二、磁光材料<sup>[5]</sup>

磁光存储材料是借热磁效应写入、磁光效应读出的。

### 1. 写入原理

借光的照射使材料局部温度变化,相应地磁状态发生变化而进行信息写入的,即所谓热磁效应。

#### (1) 居里点写入

MnBi、EuO等薄膜,若样品磁化到一个方向,当激光照射到的微区域,温度超过居里点,在冷却过程中由于周围膜的退磁场或外磁场的作用使磁化反向而写入。

#### (2) 利用矫顽力 $H_c$ 的温度变化而写入

GdIG(钆铁石榴石)是个典型的例子。将预先磁化的GdIG膜保持在  $T_{补偿}$  温度下,由于光照使微区域加热,这部分的  $H_c$  变小,由外磁场使磁化反向而写入。

### 2. 读出原理

铁磁体当透射或反射光时会使光的偏振面旋转,此乃法拉第或克尔磁光效应。信息不同即磁化状态不同,法拉第(克尔)旋转角也不同,这个旋转角可采用相干光透射或反射方式由光的强度变化来检测。

信息的擦除可通过外加一个磁场使膜均匀再磁化的方法来实现。

由此可见,对磁光材料来说,除首先要透明的磁性体外,还要求材料具有大的法拉第(克尔)旋转角和适当的吸收系数;易磁化方向垂直膜面;易制成薄膜;热写入温度不能过高等。上述条件要全部满足是困难的,要具体结合写入条件来进行选择。目前研究得较多的是MnBi和EuO。据最近报导,磁泡技术用的无定形态Gd-Fe, Gd-Co磁性薄膜也具有较好的光存储特性。但即使是目前认为最好的MnBi也具有下列一些缺点:写入的时间要求很短,一般为100毫微秒的数量级,因此需要采用大功率脉冲激光器或聚焦的连续激光器才能在足够短的时间内提供足够大的能量使温度达到居里点获得高分辨率的写入,再现效率极低(为 $10^{-4}$ — $10^{-2}$ ),在潮湿条件下性能显著变劣,并且它还有相变问题。

有些研究者认为磁光材料由于它们的灵敏度太低,故不是好的全息存储材料。但是对非全息光存储来讲,这些材料还是很适合的。

## 三、金 属 膜

很短的激光脉冲照射到金属薄膜(例如铋)上时,吸收的能量来不及扩散出去,因此材料就从表面汽化。当一个激光全息图案照到膜上时,就在膜的整个厚度上打出孔来,它与写入光的空间强度分布状况是非常

对应的,这样的图案可认为是一张振幅型全息照相,写入的信息可用反射或透射方法进行读出,再现效率一般说还是可以的。据最近报导采用锁模的钕玻璃激光器获得的  $10^{-12}$  秒脉冲成功地 在钽薄膜上拍摄了全息照相<sup>[6]</sup>。

薄金属膜的另一个特点是由于写入技术是一个热过程而与光波长无关,所以写入时可采用任意波长的激光。

这种材料的最主要缺点是难以反复使用,但可以做一个密封的盒子使材料在二个靠得很近的面间汽化。这样的器件原则上可以进行擦除。只要用一空间均匀分布的光脉冲照一下使膜重新分布。采用这样的方案被认为是可行的,至少可写擦 5—10 次。以后若再进行专门设计的话,写擦寿命还可显著提高。

#### 四、金属阳极化膜<sup>[7]</sup>

金属例如 Ta 或 Al 浸在阳极钝化溶液中[图 3(a)],在金属与惰性阴极之间外加电压  $V_a$ ,在金属上便形成薄阳极化层。当激光照射时,对应于全息干涉图案的峰顶处产生汽化 [图 3(b)] 而形成相位型全息照相,可用反射方法进行读出[图 3(c)]。当电压再加上去时 ( $V = V_a$ ) 又重行生成阳极化层,优先“填满”全息照相留下的谷,直到厚度到处均匀一致时为止,这表面就可进行新的写入。原则上讲这过程可无限次地重复,但实际上发现这种“填满”并不是完全的。当每次擦除时电压加到较高数值时,则更接近完全“填满”。如果激光能量很大,以致把底板损坏了,则层也无法“填满”,金属中含有杂质时也会影响层的再生成。

由上可见金属阳极钝化膜虽是一种可反复使用的光存储材料,但目前还只是处在初步试验的阶段,还有许多重要的技术问题需要解决。

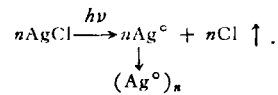
### 五、光色材料

物质经光照射着色,停止光照射又可逆地退色(恢复原来的无色或着色状态)的现象称为光色现象。近年来随着信息传输与处理技术的发展,对光色材料用作光存储材料方面也进行了不少的研究。

无机光色材料可分为光色玻璃、光色晶体和光色陶瓷等几种,现在分别介绍于下。

#### 1. 光色玻璃

这是一类含有感光剂(卤化银胶体颗粒)的硼硅酸盐玻璃<sup>[8]</sup>。这种光色玻璃经强光照射后会与照相底片中的卤化银晶体一样的光分解:



这时卤化银粒子是被玻璃介质包围的。由于玻璃的惰性,它不能象动物胶那样作为卤素的收容体;再加上玻璃的不渗透性,还可以防止卤素从晶粒中逸出。在室温到 150°C 左右的温度范围内,光分解产生的银也不能在玻璃中进行扩散,因此光分解生成的 Ag<sup>0</sup> 和 Cl<sup>0</sup> 在强光照射结束后会重新结合,恢复原来的无色的 AgCl,即着色和退色是可逆的。添加痕量的“敏化剂”能提高灵敏度和光色变暗的程度,它们是变价氧化物如铈、铈、锡和铜的氧化物,其中氧化铜特别有效。

最近的研究指出了厚的光色玻璃在多重信息存储和彩色全息照相方面的特点。但光色玻璃要得到实际的应用还面临着严重的困难<sup>[9]</sup>,例如在 6328 埃波长下光密度从 4 分贝降至 2 分贝,要求的曝光时间比普通照相底板长 10<sup>4</sup> 倍,对 3 毫米厚的光色玻璃板来讲可获得的最大再现效率小于 0.4%,再现时干扰已存储的信息,在厚介质中多次记录的数目是有限的,每次写入将干扰所有其他次的写入。

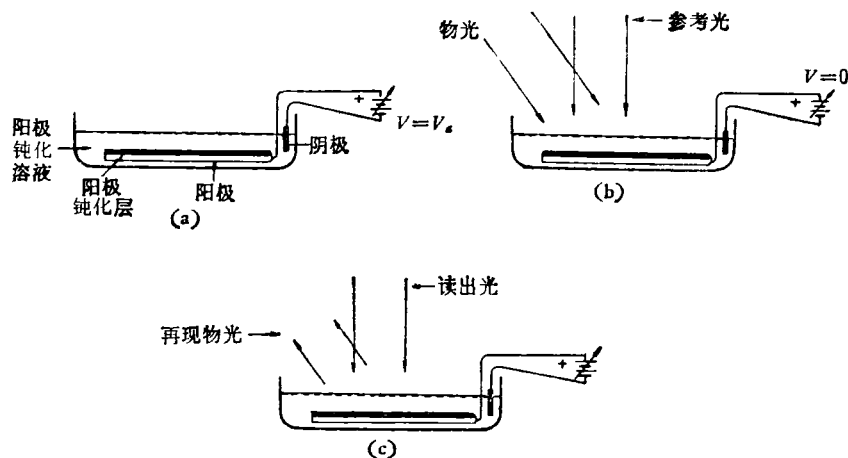


图 3 金属阳极钝化膜存储材料的工作过程

## 2. 光色晶体

已研究过光存储特性的无机光色晶体品种是很多的,例如碱金属卤化物(KCl等),掺稀土元素的氟化物( $\text{BaF}_2:\text{La}$ ;  $\text{CaF}_2:\text{Sm, Eu}$ 等),掺过渡金属的钛酸盐( $\text{SrTiO}_3:\text{Fe, Mo}$ ;  $\text{CaTiO}_3:\text{Ni, Mo}$ 等),方钠石,电子束着色的NaCl等。

近年来利用卤化物的M中心的双色性进行光信息的存储引起了人们的重视。它的原理如图4所示。

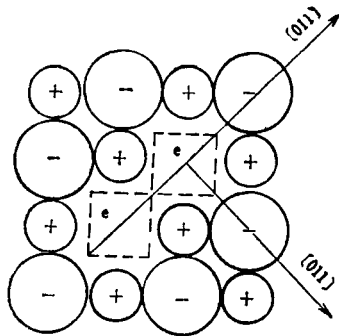


图4 M中心模型

两个相邻的由负离子缺位上俘获了一个电子的F中心(即色心)便构成M中心,它们和晶体的 $[011]$ ,  $[101]$ ,  $[110]$ 方向均垂直,晶体属立方晶系,由对称性决定了沿这些方向生成的M中心的特性都是相同的。M中心具有下列二个特征:(1)对与排列方向平行的偏振光和与排列方向垂直的偏振光的吸收特性不同(图5);(2)用图中所示的 $M_2$ 带的光照射时,M中心会

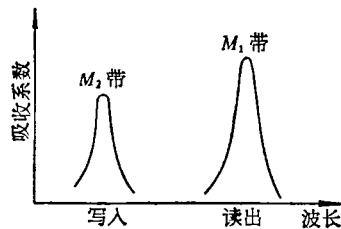


图5 吸收特性

沿这偏振光方向旋转。即用 $[011]$ 方向偏振的 $M_2$ 带光照射时,沿 $[011]$ 方向排列的M中心转成沿 $[0\bar{1}1]$ 取向;而当 $M_1$ 带光照射时,M中心不旋转。利用M中心这两种特性便可作光存储材料,即起初用沿 $[011]$ 方向偏振的 $M_2$ 带光照射整个晶体,根据性质(2),晶体中的M中心均沿 $[011]$ 方向排齐。这种状态即为“擦除”状态。这时即使用线偏振的 $M_1$ 光照射晶体,因为M中心都沿同一方向排齐,到处吸收都相同,所以整个晶体象一张白纸一样。这时若用沿 $[0\bar{1}1]$ 方向偏振的 $M_2$ 带的光照射晶体的局部,则只是在这局部区域中M中心沿 $[0\bar{1}1]$ 方向排齐。这种状态即“写入”状态。处于这种状态下的晶体,若用线偏振的 $M_1$ 带光照射时,根据性质(1),只

是M中心沿 $[0\bar{1}1]$ 方向排齐的部分的吸收与其他区域不同,于是就在那里读出信息,此外在 $M_1$ 带光情况下,因为M中心不旋转,所以用 $M_1$ 带光进行信息读出时,无论多少次,象也不会擦去。据称利用NaF或NaCl等碱金属卤化物的M中心的双色性来存储信息时,在感光灵敏度、稳定性和寿命等方面已接近实用水平<sup>[10,11]</sup>。

## 3. 光色陶瓷<sup>[12]</sup>

最近发展起来的光色陶瓷可以说是光色材料的一个新品种。它是在PZT中添加 $\text{Pb}(\text{Li}_{1/4}, \text{Sb}_{1/4}, \text{Mo}_{1/4})$ 复合氧化物(略称为PLSM)的PZT-PLSM固溶系统。当这种固溶体的组成位于某特定范围内时则呈现出显著的感光特性,加热则会恢复到原来的状态。对这种材料的光色特性进行了初步的研究,指出了它作为可逆光存储材料的可能性。

此外对有机光色薄膜也进行了一些全息存储的研究,这些材料主要是溶解在苯乙烯聚合物中的光色螺吡喃和硫靛染料等。

光色材料的显著优点是没有一个固有的分辨率极限,因为吸收是在原子或分子这个范围内发生的,高达10000条/毫米左右的分辨率从原理上讲不是不可能的。但涉及到稳定性和灵敏度时,这种材料就未必一定是很好的。在信息读出时,因为是靠光的吸收与否即属于振幅型,因此再现效率充其量只有50%,此外还存在一些缺点,如:只对窄的光谱区敏感,需要较厚的试样(1—10毫米)才能获得有用的光密度,热衰减和读出时的光学漂白会使象变坏,写入和擦除需用两种波长的光等。

## 六、电光材料

### 1. 电光晶体

透明的电光晶体如 $\text{LiNbO}_3$ 和掺杂的 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $(\text{Sr, Ba})\text{Nb}_2\text{O}_6$ 、 $\text{Ba}_2\text{NaNb}_2\text{O}_7$ 等,均可作为立体相位型全息存储材料。研究得比较多的是 $\text{LiNbO}_3$ 单晶,因此这里主要介绍 $\text{LiNbO}_3$ 单晶作为全息存储材料的情况。

有人提出了如下的模型来解释未掺杂的 $\text{LiNbO}_3$ 单晶的光存储特性<sup>[13]</sup>。这种透明介质具有大的电光系数,并且具有一定浓度的含有电子的局部陷阱,这些电子能被特定波长的光激发到导带上去。当用全息干涉图案照射介质时,使自由载流子形成不均匀集中,在光强弱的区域形成负电荷集中,相应地在光强强区域形成正电荷集中,空间电荷产生一个电场,通过电光效应使折射率发生变化,从而形成相位型全息照相。

掺杂可使 $\text{LiNbO}_3$ 单晶的写入灵敏度大为提高。试验表明“掺过渡金属特别是掺Fe获得了较好的结果,灵敏度比未掺杂的晶体提高500倍。同样掺杂对其他

电光晶体作全息存储材料来讲也起着重要的作用。未掺杂的晶体如果在写入时外加电场也能使灵敏度提高20—30倍。掺杂和外加电场只能提高写入灵敏度而不致使擦除灵敏度增加,这对于多次写入是十分有利的。

存储在掺Fe的LiNbO<sub>3</sub>晶体中的全息信息在室温下能保持几个星期,它们经可见光照射后即可擦去。尽管擦除灵敏度大约比写入灵敏度低一个数量级,但连续的读出最终还是会将全息照相完全擦去。采用热固定技术就可解决这个问题,即将晶体在黑暗中加热到120℃左右,保温5分钟,然后冷至室温。这样就能将原始全息照相的电子电荷图案转换成包含离子缺陷的电荷图案。因为后者对光是不敏感的,这样全息照相就固定下来了,并且在读出时就不会变劣。在上述热固定方法中遇到的一个问题是掺Fe晶体的固定性能极差,但它的高灵敏度和宽的动态工作区与其他性能比较起来是突出的。围绕这个问题最近又发展了一种试样在高温下写入的技术<sup>[14]</sup>。

掺杂的LiNbO<sub>3</sub>晶体对整个可见光波段都灵敏,掺Fe晶体尤其是这样。采用三个单一的激光线——4880埃(蓝),5145埃(绿)和6471埃(红)激光线还可进行彩色全息照相的写入<sup>[15]</sup>。

电光晶体作为全息存储材料的特点是:信息是以折射率的变化写入的,再现效率可接近100%;写入、擦除是基于固体电子的机理,反复使用性能也不会变坏;不需显影、定影,故可进行实时摄影;可进行多重写入;分辨率比普通银盐照相底板高。

此外,顺便提一下,还可采用光敏半导体如BiI<sub>3</sub>,GeS, CdP<sub>2</sub>等,以红宝石激光器为光源来记录全息图象,其中最灵敏的是BiI<sub>3</sub>。

## 2. 铁电-光导器件

(1) 铁电陶瓷具有与铁磁材料的磁滞回线相似的电滞回线,即在电场 $E$ 与极化 $P$ 之间出现回线关系。这是由于铁电陶瓷中存在着电偶极矩趋向不同的畴结构。当采取适当的工艺措施将铁电陶瓷做成透明后,则伴随着电畴状态的变化,其光性(例如双折射等)也将发生改变。

在铅钛酸铅铁电陶瓷基础上用铋或镧改性的PLZT就是目前研究得较多的透明铁电陶瓷。用它和光导膜、透明电极做成的夹层结构器件,可用来作光象的存储与显示,但由于铁电陶瓷存在着老化、光学不均匀性、阈值高等缺点,尚待进一步提高。

(2) 曾经采用Bi<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub>单晶层与光导层(ZnSe)构成的器件获得了高分辨率的全息存储,但器件制作困难。又因为采用的是单晶,难以得到大面积的器件。最近试图采用Bi<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub>薄膜来制作器件<sup>[16]</sup>,这样就克服上述的困难。

此外,采用液晶也可作成类似的夹层结构的全息存储器。在文献[17]中报导在写入能量很小的情况

下,获得了再现效率较高的全息照相,但分辨率只有40条/毫米。根据文献[18]介绍获得了分辨率达500条/毫米的全息照相,但再现效率只有10<sup>-4</sup>,似乎可以看出高分辨率和高再现效率两者不能同时兼得。液晶的另一个问题就是写擦速度比较慢,通常为毫秒至秒级。

这里值得提出的是由ZnSe或Bi<sub>12</sub>SiO<sub>20</sub>单晶构成的PROM器件(波克尔读出光学调制器)<sup>[19]</sup>。它是利用只有少数几种电光晶体(如ZnSe, ZnS, Bi<sub>12</sub>SiO<sub>20</sub>)才同时具有的下列三种物理性质来进行工作的:(1)在较低的电压下具有大的电光效应;(2)灵敏的光导效应,可用来按图象花样调制电光电压,获得信息图象;(3)高的电阻,即载流子俘获时间长,使光存储效应能持续几个小时。这种器件不仅具有照相底片的功能,并且在实时系统中能用电学方法反复进行信息的写入、存储与擦除,因此在光存储、光处理、光计算系统中预示着广阔的应用前景。

## 七、非晶态膜

对非晶态膜即玻璃半导体的研究始于五十年代初期。1968年电开关与存储现象的发现,引起了人们对这种材料的很大兴趣,许多国家均开展了这方面的研究。目前关于存储现象的机理比较清楚,它实际上是个热过程:玻璃半导体加热后,温度逐渐上升,到达某温度 $T_c$ 时,组成中的一部分产生分相析晶。这温度称为晶化温度。温度再升高达熔点 $T_M$ ,试样即熔化。当温度升到 $T_c$ 和 $T_M$ 之间,然后急冷,晶化状态能保持下来即呈现出存储效应。如将试样加热到熔点以上然后急冷,晶化状态便会回复到原来的玻璃态。当然激光这样强的光也会引起同样的现象,故近几年来开始了对这种材料用于光存储的研究。

总的说来玻璃半导体用作光存储材料主要是利用这样的特性:它经光照射后,可能发生下列三种变化:(1)非晶态 $\rightleftharpoons$ 晶态;(2)一种晶态 $\rightleftharpoons$ 另一种晶态;(3)一种非晶态 $\rightleftharpoons$ 另一种非晶态。伴随着上述这些变化引起透光率和折射率的可逆变化。作为相位型全息照相用的存储材料主要是利用它的折射率变化。

目前研究的主要是硫系化合物有As-S, As-S-X(X为Br, Ge), Te-As-Ge, Se-As-Ge, Te-As-Ge-S, Te-Ge-S-Sb等。

据最近报导<sup>[20]</sup>,已经研制成功采用硫系玻璃半导体膜作存储材料的光存储器(容量达 $6 \times 10^{10}$ 位),它是非全息照相型的。采用5140埃脉冲氩离子激光,写入光点直径为3微米,写入脉冲宽度为100毫微秒。目前这种存储材料可读擦数千次。

鉴于玻璃半导体的灵敏度甚低,故又发展了一种高灵敏的非晶态膜光存储器件<sup>[21]</sup>,它的特点是在光照的同时外加电压脉冲,这样就使灵敏度大大提高。它的

结构示如图 6。在厚 CdS 层上蒸上 Te-As-Ge 系非晶态薄膜，再与透明电极做成夹层结构，激光是从 CdS 层那侧射入，采用氩氟激光器，电极上加有窄电压脉冲，成功地在非晶态膜中写入小点子(直径约为 5 微米)。当外加 70 伏电压脉冲时所需的最小能量仅约  $3 \times 10^{-10}$  焦耳，最小激光功率为 0.02 毫瓦，若试样制备技术再加以改进，或采用对 CdS 高灵敏波长的激光束(例如氩离子激光)，写入能量还可降低。

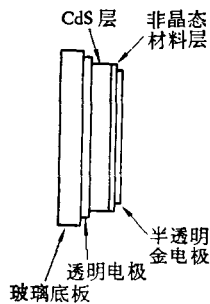


图 6 高灵敏非晶态膜光存储器件。

这里再介绍一种金属光掺入型非晶态存储材料<sup>[22]</sup>。它的原理是在金属卤化物(PbI<sub>2</sub>, BiI<sub>3</sub>, 等)或硫系化合物(As-S 系、As-S-Te 系、As-Se-Te 系、As-S-Se 系等)薄膜上蒸上一层金属(Cu, Ag 等)，前者厚度一般为 0.5~2 微米，后者一般为 0.01~0.07 微米。当光照射后，由于金属的“光掺入”，在金属与卤化物或硫系化合物之间发生光化学反应，使其光性、抗碱溶液性能、导电率等发生变化，因而利用掺金属的和未掺金属区域性质上的差异就可用来作为新型的光成象系统的

图象存储。

### 1. 利用“光掺入”现象的成象

用图象光照射银-硫系玻璃薄膜时，未掺入玻璃膜中去的残留的银层便对应图象光形成图象(正片)。然后置酸液中将残留的银层洗去，便可得到固定的图象(负片)。利用曝光区与未曝光区透明程度的不同，便可看出象来。此外富硫硫系玻璃易溶于碱液，但掺有金属的区域就不溶解，这样就能获得高分辨率的浮雕状图案。采用这种方法可直接制作光敏显微底板。

### 2. 全息存储

采用 4800 埃氩离子激光在金属-硫系玻璃膜中获得了高分辨率全息照相，当然这种材料是非可逆的，分辨率大于 1500 条/毫米。当用氩氟激光(6328 埃)再现时，衍射效率约为 10%。为获得永久的全息照相只要通过适当的途径例如用氧化剂处理一下，把残留的银层除去即可。改变激光束的入射角也可进行多次写入。只要改变组成就可制得对不同波长灵敏的材料。对这些全息照相的稳定性也进行了观察，发现在一般的光照、湿度情况下，保存若干个月后还是稳定的。

现将各种材料的一些主要性能列于表 1。由于数据引自不同的资料，有些数据出入较大，仅供进行比较时参考。

表 1 可逆存储材料的主要性能

存储材料类别	材 料	分 辨 率 (条/毫米)	再 现 效 率 (%)	写 入 能 量 (毫焦耳/厘米 <sup>2</sup> )	写 擦 次 数 (次)
热塑料-光导膜		>4000	35~40	$(5\sim100) \times 10^{-3}$	~100
磁 光	MnBi	~1000	$10^{-4} \sim 10^{-1}$	30~50	$\infty$
金 属 膜	Bi	1000	6	<50	10
金属阳极化膜	Ta	>1000	1	$\sim 10^{-3}$	几 次
光 色	(见正文)	10000 (理论上)	>50	几百焦耳/厘米 <sup>2</sup> ~几毫焦耳/厘米 <sup>2</sup>	$\infty$
电 光	LiNbO <sub>3</sub>	4000	40	$5 \times 10^3$	$\infty$
	掺杂 LiNbO <sub>3</sub>	4000	80	$10^3$	$\infty$
光导-波克尔效应器件	Bi <sub>12</sub> SiO <sub>20</sub>	320	34	$25 \times 10^{-10}$	$\infty$
非 晶 态 膜	硫系化合物	>1000	~80	50~100	几千次
	光导-硫系化合物器件			~1	

## 结 语

在前言中已经指出光存储技术特别是全息存储器具有一系列的优点，因此被认为是较有希望的大容量存储器。但它要付诸实现，关键还在于寻找较理想的

存储材料。

目前正在研究中的可逆存储材料花色品种还是不少的。关于它们的工作原理及优缺点已在前面进行了较详细的分析介绍，这里就不再赘述。一种存储材料要真正得到实用，除了它的性能优良以外，还有许多因 (下转 300 页)