

MO-PVA 与 EO-PVA 有机膜片的 图像光存储*

武鹏飞** 魏振乾 费浩生 陈文驹**

(吉林大学物理系, 长春 130023)

摘 要 用 Ar^+ 514 nm 激光作为写入光, 在有机膜片 MO-PVA 和 EO-PVA 中首次实现了汉字、英文单词及图像的实时与永久光存储, 信息估计可保持一年以上。并进一步实现了图像的联想存储。

关键词 有机膜片, 图像存储, 联想。

1 引 言

近年来, 随着光计算的兴起, 寻找新型光学存储材料越来越受到人们的重视^[1], 有机材料由于其快的时间响应, 低阈值功率, 大的非线性以及廉价等优点, 一直被认为是理想的光学材料, 现已发现多种有机材料具有光存储特性^[1~5], 但已实现图像存储的却极少, 主要原因是大部分这类材料的衍射效率较低及存储时间短等所致。本文用甲基橙(Methyl Orange 简称 MO)和乙基橙(Ethyl Orange 简称 EO)两种有机偶氮分子, 掺杂在聚乙烯醇基质(Polyvinyl Alcohol 简称 PVA)中制成 MO-PVA 和 EO-PVA 两种膜片, 实现了实时、永久及联想图像光存储。

2 实时与永久图像存储

本文所用的 MO、EO 两种分子在可见区的吸收峰分别为 450 nm 和 460 nm, 对 514 nm 吸收, 对 633 nm 不吸收。

图 1 是实验装置图, 光束 2 和 3 是 Ar^+ 514 nm 激光的写入光, 夹角 20° , 功率各为 0.1 W/cm^2 , 其中光束 3 被扩束管扩束, 要存储的图像(幻灯片)掩模被放入其中, 经过

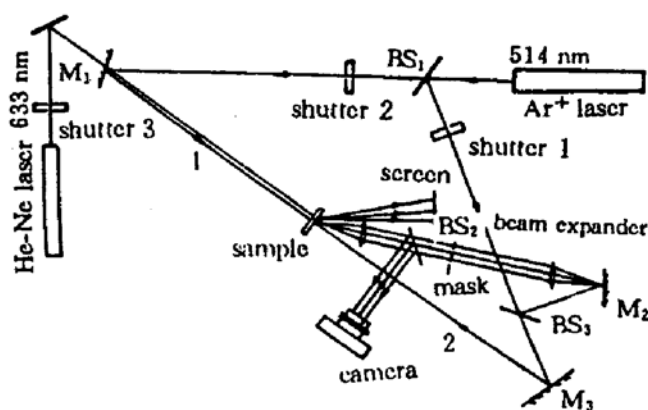


Fig. 1 Experimental setup for optical image storage

* 国家科委 863 高科技项目和国家自然科学基金资助。

** 现在地址: 南开大学现代光学研究所, 300071。

收稿日期: 1993 年 12 月 13 日; 收到修改稿日期: 1994 年 6 月 2 日

掩模调制后再经透镜会聚到样品上。光束 1 为读出光束,与光束 2 方向相反,功率亦为 0.1 W/cm^2 ,可以分别选择为 Ar^+ 514 nm 或 He-Ne 633 nm 激光。三束光 1、2、3 光斑大小相同(直径 3 mm),并重叠于样品膜片上,信号从 BS_2 分出进入相机或直接照在接收屏上。

2.1 实时与短时存储

选择 Ar^+ 514 nm 作为读出光,掩模分别为汉字“吉”、“大”、点阵和带有三台激光器的四种图像,存储的信息从 BS_2 分出后直接进入相机拍摄(如图 1 所示)。当写入光与读出光同时打开时,是实时存储阶段。图 2(a)是样品 MO-PVA, EO-PVA 膜片的实时存储结果,图像清晰可辨且响应时间很快。图 2(b)是关闭写入光束 2 和 3 后,只有 514 nm 读出光束 1 存在时拍摄到的短时存储像(几秒钟后),从图中可以看出与实时结果相比已明显变弱(读出光擦除所致),这说明用 Ar^+ 514 nm 读出时,只适于实时存储,而不适合于长时再现。

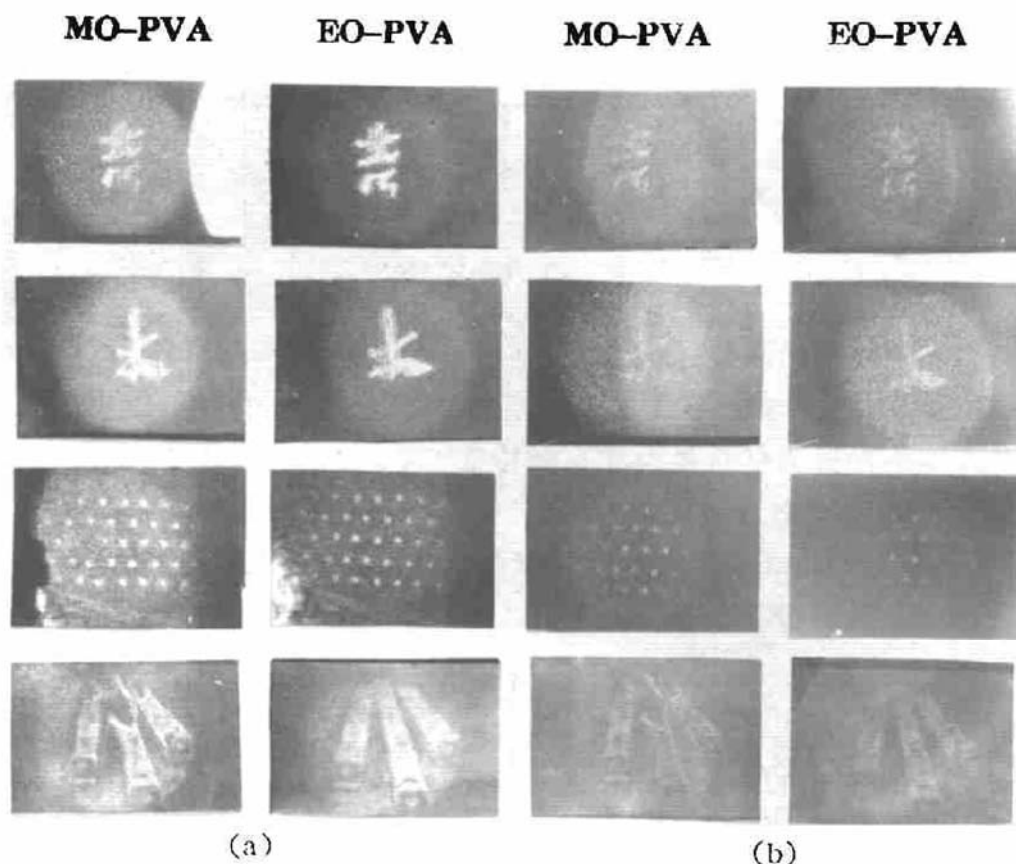


Fig. 2 Real-time (a) and short-time (b) image storage in MO-PVA and EO-PVA films

2.2 永久存储

要实现永久存储,首先应该保证读出光对存储的信息不破坏。当样品吸收读出光时(514 nm)会导致信息的擦除,所以不能用 514 nm 读出光束实现永久存储。为此采用 He-Ne 633 nm 光作为读出光,实验证实它在读出过程中不对样品中的信息擦除,适于永久存储。实验中掩模为英文单词“optic”,被放置在扩束光束 3 中。存储时打开写入光对样品曝光 5 秒左右即可(He-Ne 读出光打开或关闭不影响存储效果),然后对已存储信息的样品 MO-PVA 和 EO-PVA 分别分成两组保存:明放(室温,正常照明条件下)和暗放(室温,遮光条件下),大约每隔一周时间用 633 nm 光读出一遍,观察并比较存储在样品中的图像保持情况。实验发现在保存时间长达七个月之中,存储的信息并无明显的变化,其中暗放(基本不变)略好于明放,即室温、正常照明对样品影响不大。估计两种保存方法都能存储信息在一年以上。并且可用 633 nm 长时间读出而不会擦除。图 3 中屏上的“optic”即为存储半个月后(明放)用 633 nm 光再现

的图象。

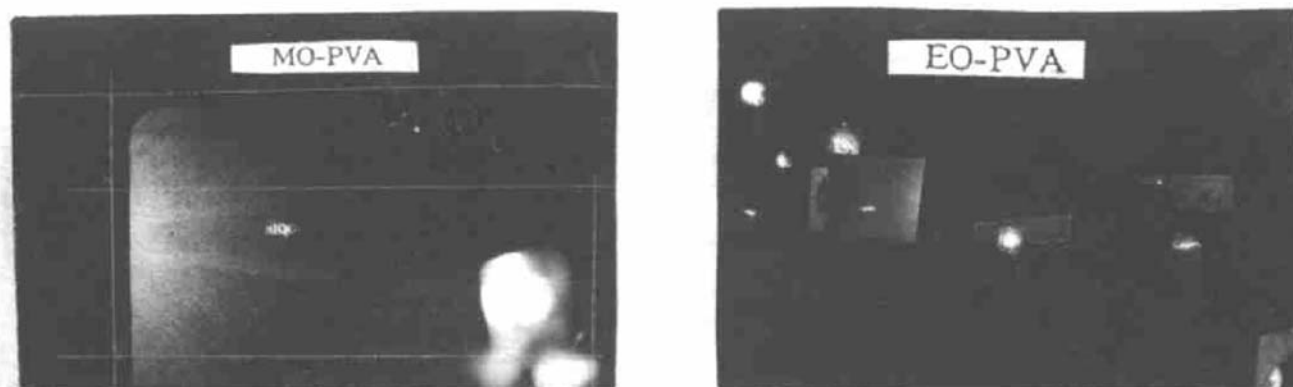


Fig. 3 Long-time image storage

另外, 存储在样品中的信息可用 Ar^+ 514 nm, 488 nm 波长的光(或其它非相干蓝绿光)及加热方法(80°C 左右)擦除掉, 并能在同一位置再次存储信息, 可重复近千次。

3 图像联想存储

以上存储实验的参考光束均为平面波, 现在把参考光束也扩展并调制, 如图 4 所示。此时在样品上形成的全息光栅是由两束均被调制的光波相干形成的。

从全息理论可知, 全息光栅传递函数为(复振幅 E_2, E_3 为被调制的写入光):

$$T \propto E_2 E_2^* + E_3 E_3^* + E_2 E_3^* + E_3 E_2^*$$

设读出光束为 E_1 , 则全息衍射的复振幅为:

$$E_4 = E_1 T \propto E_1 E_2 E_2^* + E_1 E_3 E_3^* + E_1 E_2 E_3^* + E_1 E_3 E_2^*$$

当 $E_1 = E_2$ 时, 上述第四项 $E_1 E_2^* E_3 = |E_1|^2 E_3 \propto E_3$, 表明复振幅 E_3 被再现, 当 $E_1 = E_3$ 时, 上式第三项为 $E_1 E_2 E_3^* = |E_3|^2 E_2 \propto E_2$, 表明复振幅 E_2 被再现。即可以说用 E_3 可联想出 E_2 , 用 E_2 可将 E_3 联想出来。如果用这种方法在样品中存储许多幅这样两两相对应的图像(两对图像中, 规定一幅为“名”, 另一幅为“内容”), 则用某一“名”, 可以从许多“内容”中把与它相关的内容联想出来。

实验上所用的掩模 1 和掩模 2 分别为汉字“大”与“学”, 如图 5(a)所示。图 5(b)、图 5

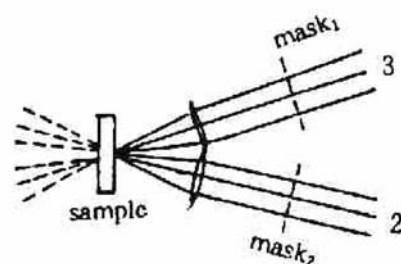


Fig. 4 Experimental apparatus for associative image storage

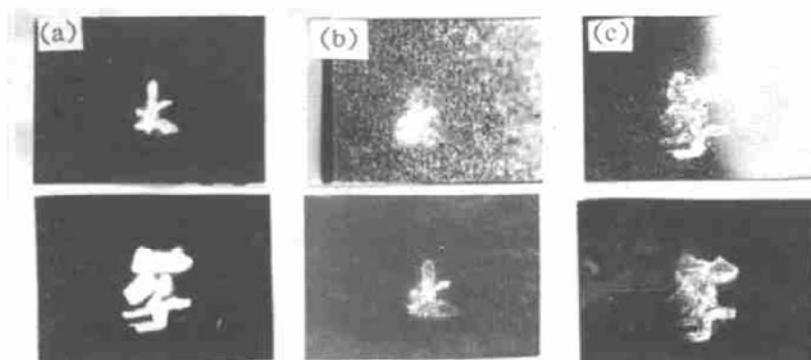
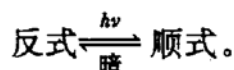


Fig. 5 Associative image storage: (a) mask, (b) and (c) associative memories

(c)是样品的联想存储实验结果,其中(b)是由“大”再现出来的图像,(c)是由“学”再现出来的图像。

4 存储机制的讨论

实时存储时由于相互作用的四束光(两束写入、一束读出和一束信号光)的波长相同,且满足位相匹配条件 $K_1 = -K_2$, $K_3 = -K_4$, 所以主要成分是简并四波混频的位相共轭信号,它是通过三阶非线性系数 $\chi^{(3)}$ 来产生的,而 $\chi^{(3)}$ 主要来源于粒子数光栅的贡献;另外样品分子在光场作用下的顺反异构效应也将对实时存储作出贡献:



对于永久存储,由于偶氮分子具有顺式和反式两种异构体,很容易使人认为这一类分子的光存储特性是由光致顺反异构引起^[2,3]。但作者认为这种效应只贡献于实时存储中,而对永久存储无贡献。原因有两个:首先偶氮分子光致异构后在暗处会很快复原^[1,4];另外假设异构后不会马上恢复,也与实验结果不符:对 MO、EO 两种分子实验证实写入光与擦除光可以是同一波长(如 514 nm),这样若写入光使分子从反式异构到顺式,那么擦除光也一样,结果会使后一种结构的分子在样品中饱和,再有光照射时,样品将不再变化,即光擦除后,将不能再存储信息或衍射信号明显下降。但实验上并未观察到这一现象,而且对同一波长的光,存储——擦除——存储无数个周期后,信号无明显变化。因此存储的信息能保持住,并不是由于顺反异构形成的光栅所致。这一类分子形成永久光栅的微观机制是分子的取向变化所引起,它基于写入光的偏振方向。即干涉条纹亮区,不论顺式或反式分子都将吸收光子而被激发,使其具有足够的能量“转向”写入光的偏振方向;同时由于样品被激光照射会产生热量,使干涉条纹亮区的 PVA 分子接近或达到玻璃转化温度(85°C),因而对 MO、EO 分子束缚力变弱,使取向更容易。而干涉条纹暗区的分子不变化,样品中分子的有序与无序排列就构成了光栅。当写入光关闭后取向的分子可以被 PVA 束缚住,即能长时间保持信息。

用分子取向观点可以很好地解释光擦除和热擦除现象:分子按擦除光偏振方向的重新取向导致原来光栅(信息)的擦除,实验发现擦除速度与擦除光的偏振方向有关,其中圆偏振光擦除最快,这也从侧面证实了分子取向的存在。另外热擦除可解释为分子的热运动加剧,PVA 由玻璃态变成粘流态,对偶氮分子束缚降低,使有序分子直接变成无序所致,这种擦除方法快于光擦除。

总之,MO-PVA 和 EO-PVA 样品是较好的光学存储材料,两种材料特性相近,都同时具有实时和永久存储特性,且重复性好,可多次擦写,不需显影,定影等化学步骤。

参 考 文 献

- [1] Alan G. Chen, David J. Brady, Real-time holography in azo-dye-doped liquid crystals. *Opt. Lett.*, 1992, 17(6): 441~443
- [2] Jean. J. A. Couture, Polarization holographic characterization of organic azo dye/PVA films for real-time applications. *Appl. Opt.*, 1991, 30(20): 2858~2866
- [3] H. Niino, A. Yabe, A. Ouchi, Stabilization of a labile cis-azobenzene derivative with amphiphilic cyclodextrins. *Chem. Lett.*, 1988: 1227~1230

- [4] P. D. Willoes, J. G. Pacifici, G. Irick, Solvent and substituent effects on the thermal isomerization of substituted azobenzenes — A flask spectroscopic study. *J. Am. Chem. Soc.*, 1971, **93**(8): 2004~2008
- [5] A. T. Reghunath, C. K. Subramanian, Optical phase conjugation in methylene blue films. *Appl. Opt.*, 1992, **21**(24): 4905~4906

Optical Image Storage in MO-PVA and EO-PVA Organic Films

Wu Pengfei Wei Zhenqian Fei Haosheng Chen Wenju

(Department of Physics, Jilin University, Changchun 130023)

(Received 13 December 1993; revised 2 June 1994)

Abstract Using Ar^+ 514 nm writing beams, we realized real-time and long-time image storage in MO-PVA and EO-PVA organic films for the first time. The images included Chinese character, English words and Pictures. It is estimated that the information can keep for more than one year. The associative memory was achieved furthermore.

Key words organic film, image storage, associative memory.

强光光学及其应用

刘颂豪教授与留美资深研究科学家赫光生合著“强光光学及其应用”一书已由广东科技出版社出版发行。这是我国强光光学(非线性光学)方面专著的第一本;本书全面系统地、详尽地论述这一领域的基础理论、实验现象及其在其它学科中的应用,是一本选材精、治学严内容丰富的好书,值得向广大科技人员介绍。

强光光学所出现的非线性效应是其主要特征,它涉及极为宽广学科领域的应用,是当前近代科技革新与应用研究的重要源泉之一。本书也反映了著者多年深入研究的激光受激散射、激光光谱、光学孤子波理论……等系列在科学上有重要影响的基础问题的成果;这些研究内容已见诸于调谐强相干光的转换,精细分子、原子瞬态过程探测以及超长距离光通讯上得到应用。迄今,强光非线性理论、现象及其应用正以层出不穷、日新月异地出现;正如本书所指出的它已在物理学、化学、生物学、核物理学及有机、无机材料科学……等学科的多种基本问题研究、分析与检测中得到应用。因此本书的出版发行非但对我国光学与激光科学的推动有重要意义,也为交叉领域科学家应用强光光学提供了很合适的系统理论书籍。

同时,本书还是一本相当深度和广度的高级科技专著。对从事这方面的光学工作者和研究科学家确是一本极好的参考与系统读物。

全书共分十二章。第一、二章是强光光学基础知识,第三~十章是强光光学的各种效应及其应用,第十一章介绍光学孤子理论及其在通信中的应用;最后第十二章非线性电极化率的理论,对一般光学介质的非线性电极化率张量进行深入分析和讨论。

全书共 379 页,约 57 万字,于 1995 年 1 月由广东科技出版社出版发行。

我为本书在我国出版而高兴,并郑重地把她推荐给从事和应用激光科学的科学家、学者、研究生以及高等学校有关专业的教师、高年级的大学生,它将会对阅读者有所得益。

(王润文)