

文章编号: 0258-7025(2005)02-0240-04

光纤耦合波长复用的全息光盘存储记录

陈仲裕, 刘学璋

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘要 详细描述了用光纤耦合、波长复用的全息光盘存储光路,指出在全息光盘驱动器即将市场化的今天,由于其光路简单、光学元件较少、性价比高,很有可能成为新的全息光盘驱动器的核心技术之一。由于短波长单模光纤及其双波长光纤分束器件的要求比较高,而用多模光纤进行准单模输出调整,以及用分光棱镜进行光束的分光,同时用对双波长敏感的光致聚合物材料进行存储,其光谱灵敏度均匀,光谱范围互不重叠。实验结果表明,光路结构合理,存储效果良好。

关键词 全息;全息光盘;光纤耦合;波长复用;光致聚合物

中图分类号 TB 877;TP 333.4⁺2 **文献标识码** A

Holographic Optical Disk Storage of Fiber Coupling and Wavelength Multiplexing

CHEN Zhong-yu, LIU Xue-zhang

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract The optical path structure of holographic storage with fiber coupling and wavelength multiplexing in the optical disk is detailed in this paper. Because of simple structure, less optical elements and higher ratio of capability to price, it will become a new core technology in the holographic optical disk drive. Because the performance of the short wavelength single mode optical fiber should be higher, a multi-model optical fiber is used to produce quasi-single mode output, and a beam prism employed instead of the optical fiber splitter. A photopolymer is made which is sensitive to two wavelengths as the storage material. Its sensitivity of spectrum is even, and the spectrum range is not overlapping. The experimental result indicates that the storage effect is better and the structure of optical path is reasonable.

Key words holography; holographic optical disk; fiber coupling; wavelength multiplexing; photopolymer

1 引 言

全息存储早在上世纪 60 年代中就被人们所认识,由于材料的局限性,光电器件也远远不能满足全息存储处理的要求,其发展非常缓慢。然而,到了上世纪 90 年代以后,全息存储材料及器件有了很大的发展,如有机光致聚合薄膜和有机光折变薄膜应用研究在 1994 年以后有了很大发展,为提高存储密度而采用先进的相位编码复用(PCM)技术,小型,低价,稳定,高功率的固态激光器已经应用于全息光存

储,较 CCD 价格低,性能高的雪崩探测器(APD)以及较液晶屏(LCD)高级的数字微镜(DMD)数据输入设备已开发,其刷新率为 2000 帧/s,对比度 1000:1,分辨率为 1280×1024 个像素/页^[1~5]。就光存储而言,全息存储是目前存储容量最大,传输速度最快的光存储技术。国外已建立了在直径为 12 cm 有机全息光盘上存储了大于 100 GByte 的容量,传输速率达 1 Gbit/s 以上的演示装置。角度复用、波长复用、位移复用、相位以及散斑编码复用等存储技术

收稿日期:2003-09-30;收到修改稿日期:2004-02-19

基金项目:国家自然科学基金(60277028)资助项目。

作者简介:陈仲裕(1947—),男,中国科学院上海光学精密机械研究所副研究员,主要从事光纤传感及光存储技术研究。

E-mail:cmyczy@online.sh.cn

层出不穷,全息光盘的市场化指日可待。为适应多波长全息存储以及市场对光盘驱动器的要求,用光纤引导波长复用光路有较大的实用性,它简化了光路,减少了众多特殊的光学元件,提高了系统的稳定性。

2 全息光盘存储装置

为提高存储密度,普遍采用傅里叶变换存储光路。以往多波长复用形成的同光路主要是利用各种镜片的多层膜对不同波长光束的透过和反射来形成的。同时为了达到物光束与参考光束等光程的目的,增加了光路安排的复杂性。而用光纤引导的波长复用全息存储光路将使系统变得简单,如图 1 所示。

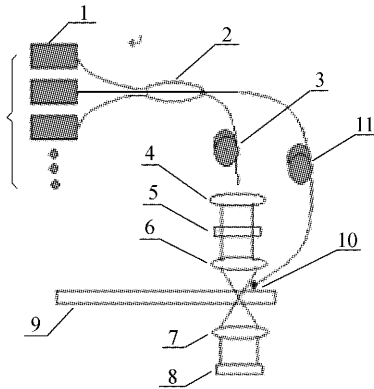


图 1 光纤耦合波长复用的全息光盘存储记录光路图

Fig. 1 Schematic optical diagram of fiber coupling and wavelength multiplexing

图 1 中,激光器阵列 1 将由多个波长激光器组成,他们可以是半导体激光器,也可以是其他类型的激光器。这里所用的激光器是氩离子激光器和氦氖激光器,分别输出 514.5 nm 和 632.8 nm 波长的激光束,他们以线偏振光输出并具有一定的相干长度。而光纤分束器 2 将产生按一定分光比的参考光束和物光束,物光束通过光纤 3 输出,其输出端面与透镜 4 的前焦点重合,形成平行光通过空间光调制器 5,产生信号光束。这里由空间光调制器 5,第一个傅里叶透镜 6,全息光盘 9,第二个傅里叶透镜 7 和 CCD 摄像机 8,组成了一个 $4f$ 系统。空间光调制器 5 位于傅里叶透镜 6 的前焦面上,第一个傅里叶透镜 6 的后焦面在光盘 9 的存储介质内,第二个傅里叶透镜 7 的前焦面与第一个傅里叶透镜 6 的后焦面重合,第二个傅里叶透镜 7 的后焦面与 CCD 摄像机

8 接收面重合,参考光路的一根末端带有自聚焦透镜 10 的输出光纤 11 将参考光引导至光盘 9 的存储介质上和第一个傅里叶透镜 6 的后焦点重合。

这里光纤分束器 2 起到了一般全息光存储光路中的空间滤波器、光束分光器和反射镜等光学元件的作用,简化了光路,提高了光学质量。作为参考光路的一根输出光纤带有自聚焦透镜 10,在傅里叶全息光存储光路中方便地替代了一般全息存储光路中会聚透镜或准直透镜的作用。输出光纤的长度调整将使两光束的干涉性能提高。目前我们使用的光盘存储介质是约 100 μm 厚的光致聚合物材料,它不需要后湿化学处理,灵敏度高,对环境有很好的抵抗性。当信息记录完成后,存储在光盘上的信息仅需要参考光束的照射(物光路被关闭,它可由空间光调制器 5 来完成),而再现的像(即信息)由 CCD 摄像机 8 平行接收输出。全部过程都由计算机控制和处理。

3 实验结果

3.1 光纤的准单模输出

当采用光纤来引导光路时,模式的匹配是非常重要的,为了获得单横模的传输,激光波长与光纤纤芯直径 ($2a$) 有一关系式,其单模光纤的截止波长为^[6]

$$\lambda_c = \frac{2\pi}{\nu_c} n_1 a \sqrt{2\Delta}, \quad (1)$$

这里 ν_c 为模式的截止频率, n_1 为纤芯的折射率, Δ 为包皮与纤芯的折射率差,其中 $\nu_c = 2.40483, \Delta = 0.01$

$$a = \frac{\nu_c \lambda_c}{2\pi n_1 \sqrt{2\Delta}}. \quad (2)$$

一般工程中截止波长往往靠实际测量获得,它与光纤的折射率分布不均匀和中心凹陷,以及光纤弯曲应力等多种实际因素有关。当模式频率 $\nu = 3$ 时,光纤中除存在 LP_{01} 模外,还将出现 LP_{11} 模,但此时实测的有效截止波长非常接近于 LP_{11} 模的截止波长,故 LP_{11} 模在光纤中传输一段距离后将很快地被衰减掉,最后在光纤中传输的仅为 LP_{01} 模。通常将用 $\nu \leq 3$ 设计的光纤称准单模光纤。根据公式,为得到单模输出取 $\nu_c = 3.83$,所以

$$a = \frac{3.83\lambda_c}{2 \times 3.14 \times 1.48 \times 0.14}. \quad (3)$$

由于在光存储中,记录波长与存储密度成反比,因此要实现单模传输所需要的光纤直径非常小(见

表 1 得到单模输出时波长与纤芯尺寸的关系

Table 1 Relation of wavelength and core size to get single mode

Wavelength $\lambda / \mu\text{m}$	1.55	0.6328	0.5145
Radius $a / \mu\text{m}$	4.48	1.83	1.46
Diameter $2a / \mu\text{m}$	8.96	3.66	2.97

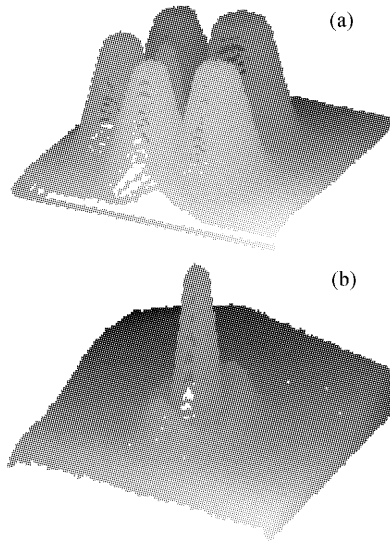


图 2 多模输出(a)与准单模输出(b)

Fig. 2 Multi-modes output (a) and quasi-single mode output (b)

表 1), 当用通信光缆(光纤直径为 $8.96 \mu\text{m}$) 作氩氦激光器和氩离子激光器波长传输时, 光束将以多模形式传输, 如图 2(a) 所示。于是 LP_{01} 模在多模光纤中的传播特性就显得特别重要。然而通过调整可以输出准单模, 调整是在 CCD 探测器的监视下进行的, 光纤通过五维调整机构作用, 使中心光场变得最大最强^[7], 如图 2(b) 所示。

对图 2(b) 的光斑强度进行测量, 得到了图 3 所示的光强分布图。

3.2 材料的吸收光谱

自行研制的全息光存储材料——光致聚合物的

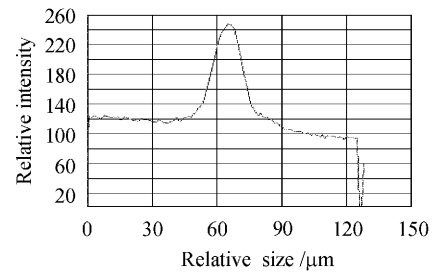


图 3 准单模输出的光强分布

Fig. 3 Light intensity distribution of quasi-single mode

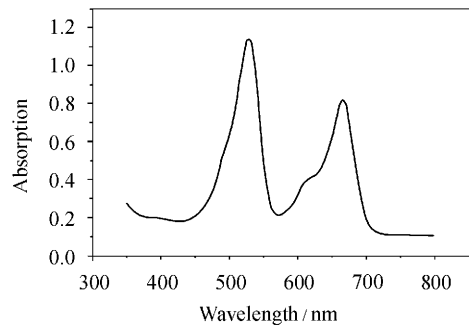


图 4 材料的吸收光谱

Fig. 4 Absorption spectrum of the material

吸收光谱线如图 4, 由图可见, 一个最大吸收峰在 528 nm 处, 对应于氩激光器输出波长; 另一个最大吸收峰在 666 nm 处, 对应于氩氦激光器输出波长, 两者的吸收峰没有发生重叠。在一种染料的最大吸收峰处, 另一种染料的吸收几乎为零, 因此, 用它们在各自吸收峰处的波长曝光记录时, 并不引起另外一种染料的曝光响应, 特别适合双波长存储。

3.3 光路的双波长存储

在上述光路系统中, 由于光纤分束器的要求比较高, 采用分光棱镜替代。这样在同一点上进行双波长复用的全息记录实验将是比较方便的, 先用 20 mJ/cm^2 的绿光对材料曝光, 记录一幅图像, 然后, 不改变材料的记录位置, 用同样光强的红光对材料曝光, 记录另一幅图像, 记录完毕后, 用紫外灯对材

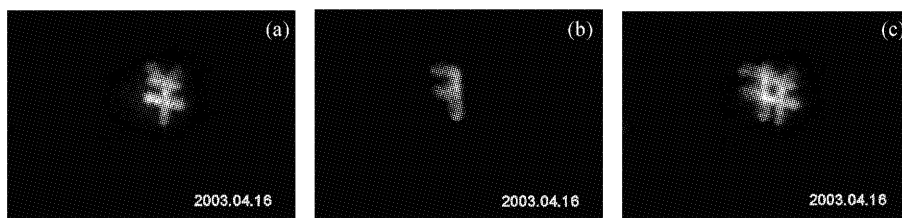


图 5 (a) 红光的再现像; (b) 绿光的再现像; (c) 红光和绿光双波长共同作用产生的再现像

Fig. 5 (a) Reconstruction image of red light; (b) Reconstruction image of green light; (c) Reconstruction image of red light and green light

料均匀曝光,消耗掉剩余的单体,固定全息图像,其重现结果如图 5 所示:(a)为红光再现的像,(b)为绿光再现的像,两幅重现图像之间没有串扰,信噪比高,说明该材料有较好的存储性能。(c)为双波长共同作用时产生的再现像。

4 结 论

采用光纤耦合、波长复用光路对研制的双波长敏感的光致聚合物进行光存储的实验研究,结果表明记录信息重现清晰,信噪比高,相互间无串扰,适合多波长记录要求。

参 考 文 献

- 1 S. Blaya, R. Mallavia, L. Carretero *et al.*. Highly sensitive photopolymerisable dry film for use in real time holography [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1998, **73**(12):1628~1630
- 2 J. R. Lawrence, F. T. O'Neill, J. T. Sheridan. Photopolymer holographic recording material [J]. *Optik*, 2001, **112**(10):449~463
- 3 J. E. Boyd, T. J. Trentler, R. K. Wahi *et al.*. Effect of film thickness on the performance of photopolymers as holographic recording materials [J]. *Appl. Opt.*, 2000, **39**(14):2353~2358
- 4 C. Croutxe-Barghorn, O. Soppera, L. Simonin *et al.*. On the unexpected role of oxygen in the generation of microlens arrays with self-developing photopolymers [J]. *Adv. Mat. Opt. Electron.*, 2000, **10**(1):25~38
- 5 S. Blaya, L. Carretero, R. Mallavia *et al.*. Optimization of an acrylamide-based dry film used for holographic recording [J]. *Appl. Opt.*, 1998, **37**(32):7604~7610
- 6 Jeunhomme Luc B.. Single-mode Fiber Optics-Principles and Applications [M]. Marcel Dekker. Inc., 1983
- 7 Chen Zhongyu, Wang Haifong. Application of fiber optical flying head in optics disk system [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(11):1041~1043
陈仲裕,王海凤. 光盘系统中的光纤飞行头应用[J]. *中国激光*, 2003, **30**(11):1041~1043