

文章编号: 0258-7025(2006)09-1168-04

均光波导多层存储器的原理和实验

杨涛¹, 梁忠诚², 蔡祥宝¹

(南京邮电大学¹数理学院, ²光电工程学院, 江苏 南京 210003)

摘要 介绍了均光波导多层存储器的基本结构和原理。波导多层存储器通过收集波导侧面信息符发出的散射光来读取数据,而均光波导多层存储器的设计主要是为了解决波导多层存储器侧面散射光强不均匀的问题。有一种方法就是通过改变信息符深度来实现均光。理论推导表明信息层表面的信息符深度沿着传导光传播方向逐渐增加时可以实现波导侧面散射光强的均匀分布,而且波导各个不同位置处信息符的深度值也可以通过拟合和计算得到。为了证明理论的正确性,设计了原理性实验,完成了原理性实验器件的研制。实验对均光波导多层存储器的结构、原理以及均光方法的可行性进行了验证。实验还将均光波导多层存储器的性能与一般的波导多层存储器作了对比,实验效果良好。

关键词 光存储;波导多层;光散射;均光波导存储器

中图分类号 TN 252;TP 333 **文献标识码** A

Principles and Experiments of Uniform Scattering Waveguide Multilayer Memory

YANG Tao¹, LIANG Zhong-cheng², CAI Xiang-bao¹

(¹College of Mathematics and Physics, ²College of Optoelectronic Engineering,
Nanjing University of Posts and Telecommunication, Nanjing, Jiangsu 210003, China)

Abstract The structure and principles of the uniform scattering waveguide multilayer memory are introduced. To read the information in the waveguide multilayer memory, an optoelectronic detector is used to detect the scattering beams emitted from the information dots on the waveguide surface. But the scattering light intensity distribution on the waveguide multilayer memory surface is not uniform which leads to low signal to noise ratio (SNR). Uniform scattering waveguide multilayer memory can cover this defect by changing the information dots depths in each position. It has been proved that one of the methods to realize the uniform scattering is to change the depths of the information dots in each position. And a function about the depths distribution of information dots is deduced in the paper. Furthermore, experimental setup is designed to prove the feasibility of the theories above, An experimental storage device is fabricated and some good experimental results are demonstrated, including two photos contrasting the performance of the uniform scattering waveguide multilayer memory with that of the ordinary waveguide multilayer memory.

Key words optical storage; waveguide multilayer; optical scattering; uniform scattering waveguide memory

1 引言

在信息技术(获取、处理、传输、存储、显示)的几个环节中,存储技术是关键。然而,目前的几种外存储设备均难以满足现代社会信息量剧增的要求。即使是蓝光存储,由于受到平面条件下瑞利衍射分辨

率极限的限制,其最大存储容量仅能达到25 Gbit。要想进一步提高存储容量,只有运用新原理、启用新材料才有可能实现^[1~7]。波导多层存储器是一种新型的三维光存储方法。它的最大存储容量的理论值可以达到100 Gbit以上。与双光子多层存储相比,

收稿日期:2006-01-11;收到修改稿日期:2006-05-28

基金项目:国家自然科学基金(60377006)资助项目。

作者简介:杨涛(1978—),男,回族,江苏镇江人,南京邮电大学讲师,物理电子学专业硕士,主要从事光信息存储、通信等方面的研究。E-mail:yangtao@sina.com

波导多层存储方法可以采用单光子记录材料,从而克服了双光子记录方式在设备和技术上的困难。该方法通过收集波导缺陷的散射光读出数据,属于一种新颖的散射型读出方式,而且不存在双光子多层技术中荧光读出的数据擦除效应,同时也避免了荧光多层技术中复杂的数据记录方法和盘片制作工艺,具有重要的应用价值和良好的市场前景^[8,9]。

为了提高波导多层存储器的性能,需要解决侧面散射光强不均匀的问题。由于波导侧面散射光强沿着传导光传播方向上呈指数衰减分布,这就使得散射光在波导耦合端处的强度比波导末端处要强很多。散射光光强的不均匀性对光电探测器的灵敏度提出了较高的要求,它要求光电探测器不仅能够探测出波导前端较强的散射光,还要能够探测出波导末端较弱的散射光。而且,由于存在着杂散光(波导本身不平整或其杂质所产生的散射光),如果波导末端光强较弱的话,光电探测器灵敏度需要提高的同时,整个系统的信噪比也是较低的,这对存储器的性能将有较大影响。为了提高波导多层存储器的光能利用率,需要对波导多层器件的光能耦合效率进行调整。如果其耦合系数设置得不好就会有两种情况发生:一是传导光能量转化为散射光能量太慢,大部分传导光能量从波导末端漏出,没有转化为散射光能量,侧面散射效率低;二是能量转化得太快,传导光还没有到达波导末端时,就已经衰减到接近于零,这样波导末端的信息符所发出的散射光太弱,从而影响数据的读出。基于上述考虑,本文提出一种侧面散射光强均匀分布的均光波导多层存储器设计方案,并进行了实验研究,希望以此进一步提高波导多层存储器的性能。

2 均光波导多层存储器的结构与原理

均光波导多层存储器是由多个光学薄膜结构单元层层叠合而成的,结构设计如图 1 所示。每个薄膜结构单元分为两层:信息层和包层,信息层的折射率 n_1 要大于包层的折射率 n_2 。这样叠合后,上一结构单元中的包层,以及本结构单元中的信息层与包层就组成了一个完整的波导结构。它们的作用分别是:信息层用于传导寻址光束和记录数据(信息符记录在信息层的表面);包层用于限光和隔离。

数据记录可以采用离子刻蚀的方法,通过在波导表面覆盖掩膜,用离子发生器聚焦在波导表面,离子束作用时间的长短控制着所得信息符的深度。由

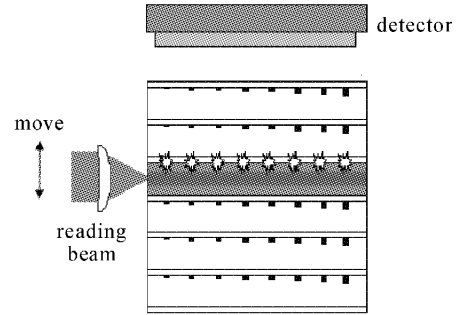


图 1 均光波导多层存储器基本结构

Fig. 1 Structure of the uniform scattering waveguide multilayer memory

于信息符深度按照一定规律变化,使得存储器被读出时发出的散射光在波导表面是均匀的。数据记录也可以采用激光直写法,通过强激光聚焦在波导表面进行烧蚀,从而得到一个信息符,激光强度不同,信息符的深度也不同。如果是大规模生产也可以采用模压的方法,如图 2 所示:先制出金属模具,它带有高度按一定规律变化的微小凸起。加热金属模具或把模具上的微小凸起前端制成尖状,利用模具直接在信息层表面压制深度不同的凹槽,再在凹槽中填注信息符材料,该材料透明,但其折射率不同于信息层的折射率。信息层制作好之后,再用涂布的方法在信息层表面涂上一层包层,或直接采用折射率适当的黏合剂材料本身作为包层。然后层层叠放、黏合压制、切割成型,从而制作出器件。

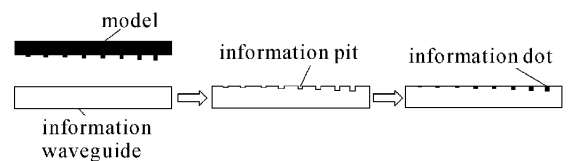


图 2 均光波导多层存储器数据符的制作

Fig. 2 Fabrication of the information dots of the uniform scattering waveguide multilayer memory

信息的读取原理包括利用波导对光的空间约束作用实现层选址和利用波导缺陷的光散射效应读出数据。要读取哪一层的数据就将光束从侧面耦合进入那一信息层所在的波导中,寻址光被限制在该层波导内传播,但在信息符处产生散射光。沿垂直于波导平面的方向观察,数据是以发光点的形式以较大的反衬度在暗背景中显示,可以用光电探测器通过光学成像系统收集这些信息符发出的散射光使其转为电信号,即有散射光时为信号“1”,无散射光时为

信号“0”。因为不同位置处的信息符深度是事先计算设计好的,所以这些散射光光强较强且大小相同。

3 均光波导多层存储器的“均光”设计

以其中一层波导为例,根据导波光学原理,传导光在信息层中传播,其电场强度的振幅遵循指数衰减规律^[10,11]。设 z 方向为传导光传播方向,则

$$\frac{dA(z)}{dz} = -\alpha A(z), \quad (1)$$

其中 $A(z)$ 为传导光的电场强度振幅, α 为 z 处的衰减系数。

设 $B(z)$ 为侧面散射光的电场强度振幅,由于侧面散射光的场强振幅与传导光的场强振幅成线性关系,所以

$$B(z) = \beta A(z), \quad (2)$$

其中 β 为耦合系数。这里的耦合系数 β 以及(1)式的衰减系数 α 都是由信息符的深度 h 所决定的。如果信息符的深度 h 较浅,即信息符的深度小于信息符之间平均间距的 $1/10$,那么衰减系数 α 和耦合系数 β 与信息符深度 h 满足的关系为^[12]

$$\alpha = ah^2, \quad (3)$$

$$\beta = bh, \quad (4)$$

这里 a, b 是两个基本参数,它们可以通过大量实验数据的曲线拟合得到。当 h 是随着 z 而变化的量时,(3),(4)两式近似成立。将此两式代入到(1),(2)式,得到

$$\frac{dA(z)}{dz} = -ah^2(z)A(z), \quad (5)$$

$$B(z) = bh(z)A(z), \quad (6)$$

设传导光在入射端处的场强振幅为 1,波导末端 z_e 处传导光场强振幅为 A_e ,解方程(5)和(6),得

$$h(z) = \frac{B(z)}{b[1 - (1 - A_e^2) \int_0^z B_N^2(z) dz]^{1/2}}, \quad (7)$$

其中 $B(z)$ 与 $B_N(z)$ 满足的关系为

$$\int_0^{z_e} B_N^2(z) dz = 1, \quad (8)$$

$$B_N(z) = \left(\frac{b^2}{a} \frac{1 - A_e^2}{2} \right)^{-1/2} B(z), \quad (9)$$

均光波导多层存储器要求 $B(z)$ 保持不变,设波导表面散射光电场强度振幅恒为 B ,则

$$h(z) = \frac{B}{b \left[1 - (1 - A_e^2) \left(\frac{b^2}{a} \frac{1 - A_e^2}{2} \right)^{-1} B^2 z \right]^{1/2}}, \quad (10)$$

其中

$$A_e^2 = 1 - \frac{2a}{b^2} B^2 z_e, \quad (11)$$

由(10)和(11)式得到

$$h(z) = \frac{B}{(b^2 - 2aB^2 z)^{1/2}}, \quad (12)$$

只要通过实验拟合求得 a 和 b 的值,再将 B 的值设定,就可以求得不同位置处的信息符深度。当 $B = 0.05 \text{ N/C}$, $a = 1 \text{ mm}^{-3}$, $b = 1 \text{ mm}^{-1}$ 时,信息符的深度分布如图 3 所示。

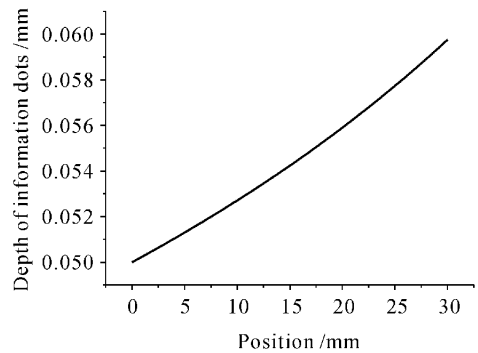


图 3 信息符深度的分布

Fig. 3 Distribution of the information dots depths

可见,要使得侧面散射光强均匀,信息层表面的信息符深度要随着传导光传播距离的增大而不断增加。

4 实 验

波导样品的信息层材料选择厚度为 0.32 mm ,大小为 $12 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$ 的矩形聚乙烯薄膜,包层采用空气。数据记录采用激光直写法:先用 AutoCAD 绘图软件画出需要得出的信息符的大小与分布,然后用激光标刻机(南京大恒光电技术有限公司, MA80-1 型)及其专用的打标软件在聚合物薄膜上打出预先设计好的信息符点阵图案。标刻时,激光标刻机的激光束聚焦于聚合物薄膜表面,其热效应改变了焦点处薄膜材料的光学性质,形成局部点状波导缺陷。在薄膜纵向不同位置处的信息符深度可以通过激光标刻机所用工作电压来控制。通过理论计算和实验拟合,得到沿传导光传播方向不同位置处的工作电压如图 4 所示。

根据上面得到的工作电压,我们用激光标刻机制作了均光波导多层存储器的原理性器件。点间距 Δ 为 0.6 mm 的样品共做了五层。又用相同的工作电压(400 V)制作了五层非均光(即信息符深度相

同)的器件。图 5,6 是所得实验结果的照片。由实验结果可以看出,与非均光器件相比,均光波导多层存储器具有更好的光强分布,因而将会有更好的信噪比和灵敏度。

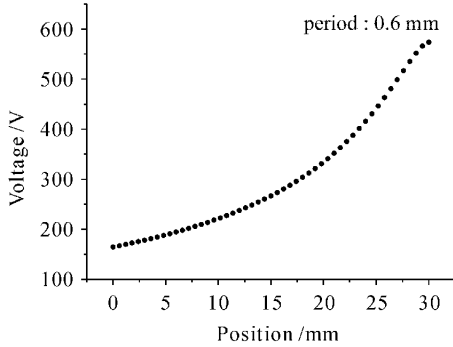


图 4 制作各个位置处的信息符所用的工作电压

Fig. 4 Working voltages used to fabricate the information dots at different positions

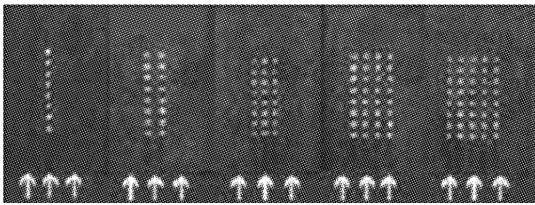


图 5 均光波导多层存储器(五层)原理性实验结果

Fig. 5 Experimental results of the uniform scattering waveguide multilayer memory (five layers)

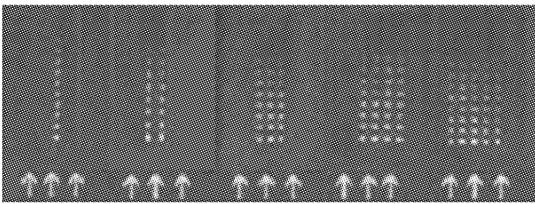


图 6 波导多层存储器(五层)原理性实验结果

Fig. 6 Experimental results of the waveguide multilayer memory (five layers)

5 结 论

均光波导多层存储器是一种具有均匀散射光分布的新型波导多层存储器件,它以波导缺陷形式记录数据,利用波导缺陷的散射效应读出数据。它既有一般多层存储器信息容量大,传输速率高的优势,又具有写入灵敏度高,读出信噪比大,层间串扰小,非破坏性读出等优点。与一般的波导多层存储器相

比,由于它的信息符深度随着传导光传播距离变化而变化,所以它的侧面散射光强是均匀的,因而能够进一步提高器件的性能。实验表明,均光波导多层存储器原理正确,方法可行,具有重要的技术价值和良好的应用前景。

参 考 文 献

- Hu Hua, Qi Guosheng, Xu Duanyi. Experiment study of multilevel data storage based on photochromism [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(8):951~954
胡 华,齐国生,徐端颐. 基于光致变色原理的多阶存储实验研究[J]. *中国激光*, 2004, **31**(8):951~954
- Lu Zifeng, Zhang Yanjie, Wu Zhifa *et al.*. Studies on photochromism and holographic recording of chiral azobenzene derivative [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(2):265~268
陆子凤,张彦杰,吴志发 等. 手性偶氮苯衍生物的光致变色和全息存储特性研究[J]. *中国激光*, 2005, **32**(2):265~268
- Lu Yonghua, Wang Pei, Zhang Jiangying *et al.*. Investigation on near-field optical data storage using solid immersion lens [J]. *Chinese J. Lasers*, 2003, **30**(2):145~148
鲁拥华,王 沛,章江英 等. 利用固体浸没透镜的近场光学存储研究[J]. *中国激光*, 2003, **30**(2):145~148
- Yao Huawen, Huang Mingju, Chen Zhongyu *et al.*. Optimization of acrylamide-based photopolymer and its holographic character investigation [J]. *Chinese J. Lasers*, 2002, **A29**(11):972~974
姚华文,黄明举,陈仲裕 等. 光致聚合物材料中引发剂浓度的优化和全息存储性能研究[J]. *中国激光*, 2002, **A29**(11):972~974
- Tang Huohong, Zhou Yongjun, Jiang Zhongwei *et al.*. Experimental study on photochromic three-dimensional optical storage under two-photon absorption [J]. *Chinese J. Lasers*, 2005, **32**(1):92~96
唐火红,周拥军,蒋中伟 等. 双光子吸收光致变色三维光存储实验研究[J]. *中国激光*, 2005, **32**(1):92~96
- Yoshimasa Kawata, Hidekazu Ishitobi, Satoshi Kawata. Use of two-photon absorption in a photorefractive crystal for three-dimensional optical memory [J]. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(10):756~758
- Satoshi Kawata, Yoshimasa Kawata. Three-dimensional optical data storage using photochromic materials [J]. *Chem. Rev.*, 2000, **100**:1777~1787
- Zhongcheng Liang, Tao Yang, Hai Ming *et al.*. A novel 3D multilayered waveguide memory [C]. *SPIE*, 2002, **4930**:134~137
- Liang Zhongcheng, Chen Jiasheng, Yang Tao *et al.*. Principles and experiments of the waveguide multilayer optical memory [J]. *J. Optoelectronics • Laser*, 2004, **15**(3):315~317
梁忠诚,陈家胜,杨 涛 等. 新型波导多层光存储原理和实验[J]. *光电子 • 激光*, 2004, **15**(3):315~317
- J. Spigulis, D. Pfafrods, M. Stafeckis *et al.*. The "glowing" optical fibre designs and parameters [C]. *SPIE*, 1996, **2967**:226~236
- J. Spigulis, D. Pfafrods. Clinical potential of the side-glowing optical fibers [C]. *SPIE*, 1997, **2977**:84~88
- K. A. Bates, L. Li, R. L. Roncone *et al.*. Gaussian beams from variable groove depth grating couplers in planar waveguides [J]. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(12):2112~2116