

基于细菌视紫红质薄膜的三值光学数据存储研究

左开中

(安徽师范大学 计算机系, 安徽 芜湖 241000)

摘 要:为了解决三值光计算机对线偏振光的直接存储问题,提出了一种基于细菌视紫红质薄膜的三值偏振全息数字光学存储方法。采用 He-Ne 激光器为记录和读出光源,以双层液晶和偏振器为核心的调制器为三值数据的输入部件、以双 CCD 为核心的解调器为数据读出部件,采用傅里叶变换全息记录的方法,在细菌视紫红质薄膜上实现三值数字光学数据存储。该方法具有以下特点:直接存储用光束的正交线偏振态和无光态表示的三值信息;以页面为单位的并行寻址和读写操作;高数据存储容量(存储面密度达 $2 \times 10^8 \text{ bit/cm}^2$)。

关键词:偏振全息存储;细菌视紫红质薄膜;三值

中图分类号:TP333

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2008)03-0132-03

Study on Ternary Optical Memory of Bacteriorhodopsin Film

ZUO Kai-zhong

(Department of Computer Science, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China)

Abstract: To store line-polarized beam for ternary optical computer, a novel method of ternary polarization-holograms storage is presented. Using He-Ne laser as recording and readout beam, the modulator based on double LCD as data input unit, the demodulator based on double CCD as data output unit, ternary digit optical data was made on bacteriorhodopsin film by Fourier transform holographic method. It has some properties: store directly ternary information denoting by cross-polarization and non-light states; adopt page addressing and parallel read-write mechanics; high density data storage ($2 \times 10^8 \text{ bit/cm}^2$).

Key words: polarization holograms storage; bacteriorhodopsin film; ternary

1 问题的提出

光学存储器是三值光计算机^[1,2]的关键部件之一,为充分发挥三值光计算机空间巨并行性和巨位数的优势,理想的三值光计算机存储器应具有如下特点:

(1)直接存储用光束的正交线偏振态和无光态表示的三值数字信息;

(2)以页面为单位的二维并行寻址和读写操作;

(3)数据存储密度高容量大。

全息光存储以其高数据存储容量和高数据传输速率成为光存储领域的一个重要发展方向。同时研究表明,光束的偏振态可利用具有光致各向异性的全息材料被记录下来^[3]。因此,偏振全息存储是一种很适合三值光计算机的光存储技术。

细菌视紫红质(bacteriorhodopsin, BR)是存在于嗜盐

菌紫膜中的一种具有光致二向色性和光致双折射性的光敏蛋白质。BR 薄膜保留了 BR 分子的光学特性,具有高感光灵敏度(10^{-3} J/cm^2)、高空间分辨率(>5000 线/毫米)、高擦写循环次数($>10^6$ 次)和对光的偏振态敏感等显著优点,而且制备简单、稳定性高。因此,BR 薄膜适合作为偏振全息存储的记录材料。

基于 BR 薄膜的这一特性,德国的 Hampp、日本的 Okada、中国的西安光机所的姚保利和南开大学的李玉栋等研究小组开展了 BR 薄膜偏振全息存储的实验研究^[4-9]。结果表明:BR 薄膜可记录光束的正交线偏振态,同时 BR 薄膜中可产生普通全息光栅和偏振全息光栅,实现二值图像信息存储。

但三值偏振全息数字存储一直未见科学报道,文中对基于 BR 薄膜的三值偏振数字全息存储进行了有益的探索。

2 三值偏振全息存储的基本原理

2.1 BR 薄膜的全息光栅

将两束具有相同偏振方向的相干线偏振光同时入

收稿日期:2007-06-13

基金项目:安徽省高等学校青年教师科研资助计划项目(2007jq062)

作者简介:左开中(1974-),男,安徽宿州人,讲师,博士研究生,研究方向为光计算机和嵌入式系统开发。

射到 BR 薄膜上,两束光在 BR 薄膜中相干并形成干涉条纹,结果全息光栅被记录在 BR 薄膜中,以下称这种全息光栅为常规全息光栅。而将两束偏振方向正交的相干线偏振光同时入射到 BR 薄膜上,结果偏振全息光栅被记录在 BR 薄膜中。若用第三束光(读出光)以 Bragg 角照射 BR 薄膜,产生衍射光。此时记录光、参考光、读出光和衍射光束偏振态之间的关系,如表 1 所示^[7]。

表 1 记录光、参考光、读出光和衍射光偏振态之间的关系

	平行线偏振记录		正交线偏振记录	
记录光 R 偏振方向	↔	↑	↔	↑
参考光 S 偏振方向	↔	↑	↑	↔
读出光偏振方向	↔	↑	↔	↑
衍射光偏振方向	↔	↑	↑	↔

由表 1 可见:

(1)当两束具有相同偏振方向的记录光和参考光同时入射到 BR 薄膜时,衍射光和读出光具有相同的偏振方向;

(2)当两束偏振方向正交的记录光和参考光同时入射到 BR 薄膜时:

(a)当读出光和参考光 S 具有相同的偏振方向时,衍射光具有和记录光 R 相同的偏振方向,且与参考光 S 的偏振方向垂直;

(b)当读出光和参考光 S 偏振方向正交时,衍射光具有和参考光 S 相同的偏振方向,且与记录光 R 的偏振方向垂直。

文献[9]报道了:采用透射式全息光路,用德国 Marburg 大学制备的基因改性细菌视紫红质材料 BR-D96N 薄膜作样品进行了偏振全息存储实验,也得到了表 1 中的结果。

2.2 向 BR 薄膜写入三值信息

不失一般性,用光束的无光态、水平偏振态和垂直偏振态表达三值数字信息 0、1 和 2,且参考光和读出光均为水平偏振光,记录光为无光态、水平偏振光或垂直偏振光,此时表 1 可简化为表 2。

表 2 三值信息的读写

记录光 R 偏振方向 (写入的三值信息)	无光态 (0)	↔ (1)	↑ (2)
参考光 S 偏振方向	↔	↔	↔
读出光偏振方向	↔	↔	↔
衍射光偏振方向 (读出的三值信息)	无光态 (0)	↔ (1)	↑ (2)

由表 2 可见:

(1)当无记录光照射 BR 薄膜时,在 BR 薄膜上没有

产生全息光栅,表示无光记录在 BR 薄膜上,即写入信息 0;

(2)当记录光 R 为水平线偏振光时,在 BR 薄膜上产生常规全息光栅,表示将水平偏振光记录在 BR 薄膜上,即写入信息 1;

(3)当记录光 R 为垂直线偏振光时,在 BR 薄膜上产生偏振全息光栅,表示将垂直偏振光记录在 BR 薄膜上,即写入信息 2。

2.3 从 BR 薄膜中读出三值信息

向 BR 薄膜写入三值信息后,BR 薄膜中产生相应的全息光栅。当用水平线偏振光作为读出光入射 BR 薄膜,根据全息学原理,此时将产生衍射光,根据表 2 的结论:

(1)若衍射光为水平偏振光,则表示读出了信息 1;

(2)若衍射光为垂直偏振光,则表示读出了信息 2;

(3)若衍射光光强为 0,则表示读出了信息 0。

3 基于 BR 薄膜的三值偏振全息数字存储系统

根据三值偏振全息存储基本原理,设计了一个基于 BR 薄膜的三值偏振全息存储器系统,如图 1 所示。

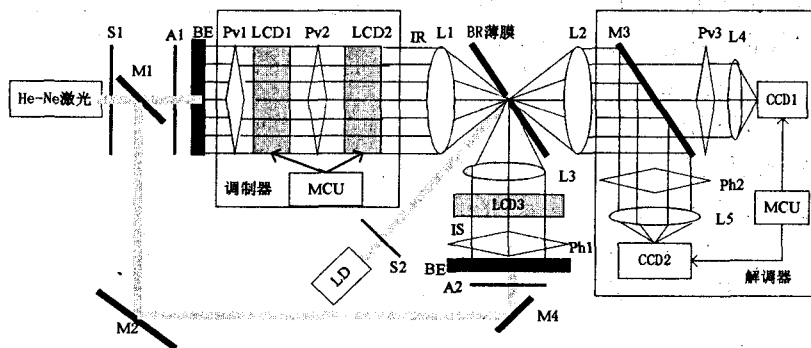


图 1 基于 BR 薄膜的三值偏振全息存储器系统

图 1 中, LCD1~LCD3 为液晶屏, Pv1~Pv3 为垂直偏振片, Ph1 和 Ph2 为水平偏振片, MCU 为微控制器, L1~L5 为透镜, M1 和 M3 为 45 度角转折的半反半透平面镜, M2 和 M4 为 45 度角转折的全反镜, IR 和 IS 分别为记录光束和参考光束, S1 和 S2 为快门, A1 和 A2 为连续可调衰减片, BE 为扩束准直器。

基于 BR 薄膜的三值偏振全息存储器系统由光源、调制器、4f 偏振全息存储系统和解调器组成。

其中: 633nm、3mW 的 He-Ne 激光器为记录和读出光源; 405nm、10mW 的半导体激光器 LD 为擦除光源。快门 S1 控制记录曝光时间, S2 控制擦除时间。连续可调衰减片 A1 和 A2 用来调节记录光、参考光和读出光的光强。LCD1、LCD2 和偏振片 Pv1 和 Pv2 构成调制器。透镜 L1、L2 和 BR 薄膜构成一个 4f 偏振

全息存储系统, BR 薄膜放置在 L1 和 L2 的共焦面上, 用来存储傅里叶全息光栅。图像传感器 CCD1 和 CCD2、微控制器 MCU、透镜 L4 和 L5 以及偏振片 Ph2 和 Pv3 构成解调器, 用来判断衍射光的偏振态, 并将三值光信号转换为电信号供电子计算机处理。

三值偏振全息存储器系统的工作过程:

(1) 三值光信号的调制。

He-Ne 激光器发出的激光束经平面分束镜 M 分光, 其中透射光束经 BE 扩束准直后送入调制器, 待存储的三值电信息调制为相应的线偏振光束, 即记录光束 IR。其中, 信息 0 编码为无光态、1 为水平偏振光态、2 为垂直偏振光态。因此, 记录光束 IR 中包含无光态、水平偏振光态和垂直偏振光态三种子光束状态, 记录光束 IR 加载的三值信息和液晶 LCD2 的像素相对应, 即二维液晶屏(对应于像素点)独立选择所要存储的线偏振光束。

(2) 三值光信号的并行写入。

He-Ne 激光器发出的激光束经平面分束镜 M 分光, 其中反射光束经 BE 扩束准直后, 然后经水平偏振片 Ph1 起偏为水平偏振光束, 即产生参考光束 IS, IS 经液晶 LCD3 和透镜 L3 后, 与记录光束 IR 在 BR 薄膜表面相交而记录下相应的全息光栅, 即将记录光束 IR 加载的三值信息写入 BR 薄膜。

(3) 三值光信号的读取。

以原参考光 IS 为读出光入射 BR 薄膜, 产生衍射光, 衍射光中包含无光态、水平偏振光态和垂直偏振光态三种光束状态。

(4) 三值数字信息的解调。

衍射光经透镜 L2 送入解调器, 来确定衍射光的偏振态。

由于 CCD 只能区分无光态和有光态, 而不能区分光的线偏振态。因此, 在解调器中, 首先将衍射光束经平面分束镜 M 分光为两束不同方向的衍射光。然后, 在这两个方向上各放置一个 CCD, 且在两个 CCD 前分别放置一个垂直偏振片和水平偏振片。这样衍射光束中的垂直偏振子光束和水平偏振子光束分别使两个 CCD 产生电信号输出, 综合两个 CCD 的输出结果, 可以确定衍射光的偏振方向和光强, 同时获得用电信号表示的三值信息。

(5) BR 薄膜的信息擦除。

半导体激光器 LD 发射紫光到 BR 薄膜上可以删除常规或偏振全息光栅, 再用读出光照射 BR 薄膜对应区域, 将不会产生衍射光, 表示 BR 薄膜上的信息 1

或 2 被删除。

(6) BR 薄膜的并行按页寻址。

三值偏振全息存储器系统的读写操作是以 LCD 液晶屏为单位, 透过一个液晶像素的记录光束表示一位三值数据, 记录光束与参考光束之间通过液晶像素定标对应, 一个读写周期可并行读写的三值数据量为一屏液晶所包含的像素个数。以分辨率为 640×480 的液晶屏为例, 一个读写周期可以并行读写 30 万位三值数据。

同样, 寻址操作也以液晶屏为单位, 称为页式寻址, 一次定位一页数据。

4 结 论

在基因改性细菌视紫红质 BR-D96N 薄膜上进行的偏振全息数据存储实验^[8,9]表明: 基于 BR 薄膜的三值偏振全息数字存储器系统实践上是可行的, 为实现三值偏振光信号的并行存储提供了一种新方法, 可望满足三值光计算机三值数字信息的存储需求。但这种方法要达到实用化, 还要需要继续研究。

参考文献:

- [1] Jin Yi, He Huacan, Lü Yangtian. Ternary Optical Computer Principle[J]. Science in China (Series F), 2003, 46(2): 145 - 150.
- [2] Jin Yi, He Huacan, Lü Yangtian. Ternary Optical Computer Architecture[J]. Physical Script, 2005, T118: 98 - 101.
- [3] Kakichashvili S D. Methods and uses of polarization holography[J]. SPIE, 1991, 1731: 148 - 157.
- [4] Korchemskaya E Y, Stepanchikov D A, Dyukova T V. Photoinduced anisotropy in chemically - modified films of bacteriorhodopsin and its genetic mutants[J]. Opt Mat, 2000, 14: 185 - 191.
- [5] Juchem T, Hampp N. Reflection polarization holograms in bacteriorhodopsin films for low - light recording[J]. Opt Lett, 2001, 26(21): 1702 - 1704.
- [6] Okada - shudo Y. Polarization holograms with bacteriorhodopsin [J]. SPIE, 2001, 4461: 138 - 145.
- [7] 李玉栋, 孙 睿, 张春平, 等. 利用 BR 膜实现全光布尔逻辑操作[J]. 中国激光, 1999, 26(12): 1103 - 1108.
- [8] 郑 媛, 姚保利, 王英利, 等. 基因改性细菌视紫红质 BR-D96N 薄膜的偏振全息存储实验[J]. 中国科学(G 辑), 2003, 33(6): 554 - 556.
- [9] 任志伟, 姚保利, 门克内木乐, 等. 菌紫质高密度偏振全息光数据存储实验研究[J]. 物理学报, 2005, 54(6): 2699 - 2703.