

文章编号: 0253-2239(2006)06-0827-4

# 同轴式光全息存储技术及其系统

谭小地<sup>1</sup> 堀米秀嘉<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> 光技术企业公司, 日本神奈川县 横浜市 222-0033  
<sup>2</sup> 日本科学技术振兴机构, 日本 埼玉县 川口市 332-0012)

**摘要:** 同轴式光全息存储技术是新型超大容量超高速存取的光学存储技术。具有反射式结构的光盘可以将再现光反射回聚焦透镜,因而可以简化系统结构,而且可与现有的光盘系统(如 CD 和 DVD)很好地兼容。引进现有光盘的伺服控制技术可以有效地保持聚焦透镜与光盘间距和精确定位,因而,可将全息图准确无误地记录在媒体中并准确无误地再生出来而不受外界的振动影响。首先讨论了传统的“双光束干涉法”在商品化方面遇到的难题,从而引出了同轴式光全息存储技术并演示了它的记录、再生的实验结果。通过实验数据分析计算了该光盘系统的角度偏差和光源波长容限范围。为实现装置的低成本和小型化等方面提供了理论依据。

**关键词:** 全息; 光全息存储器; 光盘; 系统容限

中图分类号: O438 文献标识码: A

## Collinear Holographic Information Storage Technologies and System

Tan Xiaodi<sup>1</sup> Hideyoshi Horimai<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> OPTWARE Corporation, 2-5-1 Shin-Yokohama, Kohoku-Ku, Yokohama 222-0033, Japan)  
(<sup>2</sup> Japan Science and Technology Agency-CTEST, Kawaguchi, Saitama 332-0012, Japan)

**Abstract:** Collinear holography is a technology for ultra-high density and ultra-high speed optical storage system. The reflective disc structure can reflect the reconstructed image back to the same objective lens. As this reason, the system structure can be simplified which is compatible with existing storage disc systems, like CD and DVD. Servo technologies, which are applied in the optical disc, can precisely maintain the distance and the relative position of the objective lens and the disc, and the holograms can be recorded and reconstructed in a disc accurately. Furthermore a vibration isolator is not necessary any more. The existing essential issues for practicality in conventional 2-axis holography are discussed firstly. And then, collinear holography is introduced and the recording and reconstructing process is demonstrated. Tilt margin and wavelength margin of this system are analyzed from the experimental results. It is proved that the low cost and compactable device can be manufactured theoretically.

**Key words:** holography; optical holographic storage; optical disk; system tolerance

## 1 引 言

光全息存储技术的研究早在 20 世纪 60 年代激光器诞生以后就已经开始了<sup>[1]</sup>。在长达四十多年的时间里,人们提出了各种各样的存取方式,并研制成样机进行演示<sup>[2]</sup>。可是这些方式都只是在实验室中进行的,在实现商品化的过程中存在以下几点问题:第一,在记录过程中相干光分成两束(双光束干涉法)。这种方式不仅使系统复杂化,而且在记录过程中受环境振动的影响也非常大。通常要在防震台上才能很好地运行。第二,通常采用多重记录的方式

来提高光全息存储器的记录容量<sup>[2~4]</sup>,而高密度的多重记录本身对记录媒体的定位精度要求很高。到目前为止高精度定位是“双光束干涉法”的一个难题。第三,“双光束干涉法”与现有的光盘存储器(例如 CD, DVD 等)无法兼容。

同轴式光全息存储技术是因信息光与参考光沿同一光轴传播的方式而得名<sup>[5]</sup>。可以从根本上解决上述问题。利用其反射式的记录光盘结构,使系统装置在低成本和小型化方面较“双光束干涉法”更容易实现。本文介绍了同轴式光全息存储技术的基本

作者简介: 谭小地(1962~),男,山东潍坊人,OPTWARE Corporation 高级工程师,博士,主要从事光存储、光相关和光信息处理等方面的研究。E-mail: xtan@optware.co.jp

收稿日期: 2005-07-05; 收到修改稿日期: 2005-11-01

原理,并通过实验证明了此方法的可行性。最后通过对实验数据的分析证明了同轴式光全息存储技术在光源和角度等系统参量的容限范围均优于“双光束干涉法”。

## 2 同轴式光全息存储技术与光盘的特殊结构

同轴式光全息存储器的系统装置如图 1 所示。在记录过程中:将波长为 532 nm 的平行偏振激光 (Green laser) 扩束后投射到作为空间光调制器的数字式微小反射镜装置 (DMD) 上。在数字式微小反射镜装置上显示的记录图案是从用户的数字信息 (User data) 编码而得到的,如图 2(a)所示为环绕在参考光图案中的信息光图案。被调制后的光束中既有参考光又有信息光,它们沿着同一光轴传播(“同轴式”因此而得名)通过偏振分光器 (PBS) 经平移透镜 (Relay lens) 将数字式微小反射镜装置上显示的记录图案成像在显微物镜 (Objective lens) 的前焦面上。平行偏振的光束经过四分之一波片 (QWP) 后

变成圆偏振光并通过显微物镜聚焦在记录光盘 (Disc) 上。在再生过程中:首先将数字式微小反射镜装置上显示的记录图案切换到如图 2(b)所示的仅有周围参考光的图案。被调制的激光束作为参考光通过显微物镜聚焦在光盘上并再现出信息图案,通过光盘的反射层将再现光返回显微物镜。具有圆偏振的返回再现光束再一次经过四分之一波片后变成垂直偏振光被偏振分光器反射到图像接收器 (CMOS) 中。在图像接收器前 (数字式微小反射镜装置的像面位置),有一光圈 (A),可以用来遮挡住再现光的参考光部分,只留下信息光部分通过此光圈。接收到的再现图案经过解码后还原到用户的数字信息。从而实现了同轴式光全息技术的数字信息记录与再生。在记录与再现过程中,波长 650 nm 的红色激光用于控制显微物镜与光盘间的距离和全息图的记录再现位置。有了这套伺服控制系统,同轴式光全息存储器可以将全息图准确无误地记录和再生而不受外界的振动影响。

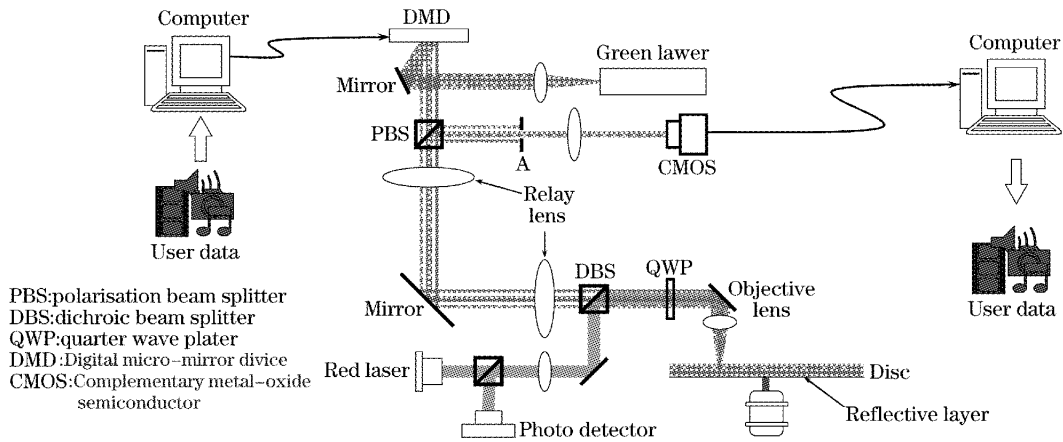


图 1 同轴光全息存储器装置示意图

Fig. 1 Optical configuration of collinear holographic storage system

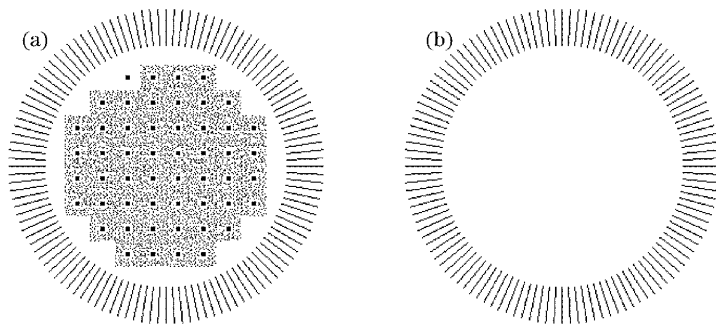


图 2 在空间光调制器上显示的一种二维图案。(a)记录用图案,(b)再生用图案

Fig. 2 One two-dimensional digital page data pattern displayed on the spatial light modulator. (a) Write pattern, (b) read pattern

同轴式光全息存储器能得以低成本、小型化与记录光盘的特殊结构也是密不可分的。如图 3 所示,光盘由以下六层构成:最底层为光盘的基板(Substrate 1),基板的顶面刻有规格化的环形沟槽和凹点阵并在其凸起处蒸镀铝反射膜(Aluminum reflective lower case)用于记录与再生过程中透镜焦点的伺服控制和全息图的位置控制。在基板与记录介质层之间加了一层分光反射层(Dichroic mirror layer)。它可以透过红色光而反射绿色光,因此有效地避免了基板表面凹凸不平对绿色光产生衍射的影响。记录介质使用的是光有机记录材料(Photopolymer)。记录材料表面是保护层(Substrate 2)。使用这种反射式

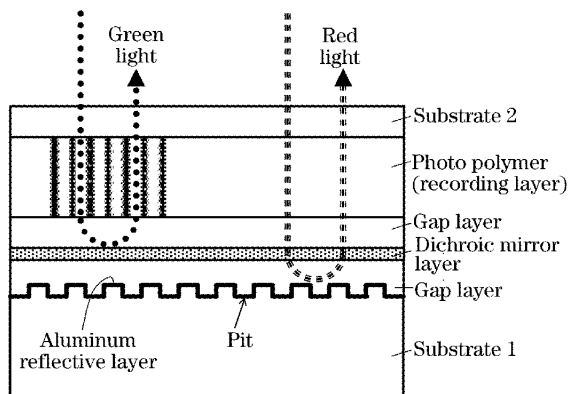


图 3 反射式记录光盘结构图

Fig. 3 Schematic illustration of reflective structure of optical disc

的光盘结构,不仅简化了光学系统,而且可以与现存的光盘系统(如 CD 和 DVD)很好地兼容。这一点是以往的“双光束干涉法”全息存储器所无法解决的问题。

### 3 实验结果及分析

为了验证同轴式光全息存储技术的可行性,利用图 1 所示的光学系统进行了数字图像的记录和再现验证实验。记录图案是按一定规则进行编码处理的用户数据<sup>[6]</sup>。将此图案记录在全息介质中,并通过图像接收器(CMOS)将再现图转换成数字信号输送到计算机中。其再现的图像和光强度统计分布图如图 4 所示。在图像接收器接收再现图时,采用了 3 倍像素的接收方式,即数字式微小反射镜装置上一点的像素用图像接收器的  $3 \times 3$  点的像素来接收。这样可以很好地避免光学系统的像差等带来的误差影响。从图 4 中看到同轴式光全息存储技术可以清晰地再现出记录图案(误码率为 0),通过解码处理后可完整地再现用户数据。在实际的记录再现过程中尤其是多重记录的时候 0 的误码率是很难保证的。一般在对用户数据进行编码处理的时候适当地增加一些纠正码来自动纠正再现图案的误码。这种方法虽然增加了记录的数据量,但可以最大限度地保证用户数据的完整再现。在记录再现实验中综合各方面因素设定允许 6% 的误码率。

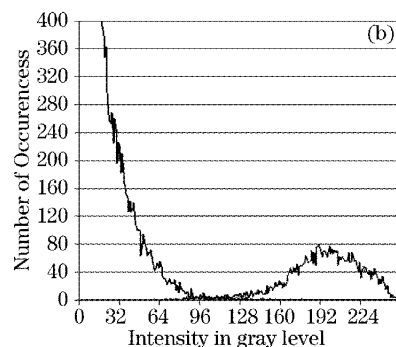
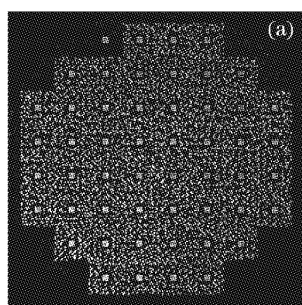


图 4 利用同轴光全息存储器装置再现出的信息图案的再生像(a)和亮度统计分布图(b)

Fig. 4 Reconstructed two-dimensional digital page data pattern image from the collinear holographic storage system (a) and its histogram (b)

按照这个误码率,分别测量了光盘倾斜角的容限和光源波长容限范围。将图 1 中所示的记录好全息图的光盘倾斜,在不同的倾斜角度下再现图像的光强度分布如图 5 所示。可以看出同轴式光全息存储技术的角度容限范围与传统的“双光束干涉法”<sup>[2]</sup>相比要宽 8 倍以上。在“双光束干涉法”中,尤其是

在角度多重记录方式中,记录介质的倾斜角直接影响了再现图像的内容和质量。而在同轴式光全息存储技术中这种影响被减少到  $1/8$ 。在光源波长容限范围测量时,将图 1 中所示的激光光源换成光波长可调的染料激光。在光波长 495 nm 时记录好全息图,然后改变光源的波长,在不同的光波长下再现图

像的光强度分布如图 6 所示。可以看出同轴式光全息存储技术的光源波长容限范围是传统的“双光束干涉法”<sup>[2]</sup>的 3 倍以上。我们知道,半导体激光器与其他激光器相比可称之为小型化且低成本的激光光源,但是光波长的不稳定性使得它无法成为“双光束干涉法”的光源。而同轴式光全息存储技术对光源波长容限范围远远大于半导体激光器的波长漂移宽

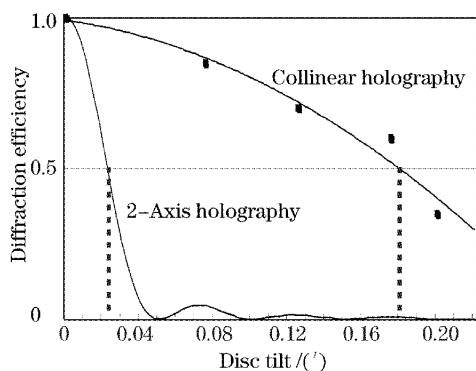


图 5 同轴光全息技术的再现信息光的衍射效率随光盘倾角变化的曲线图与“双光束干涉法”比较  
Fig. 5 Tilt margin analysis by the diffraction efficiency from collinear holography and 2-axis holography

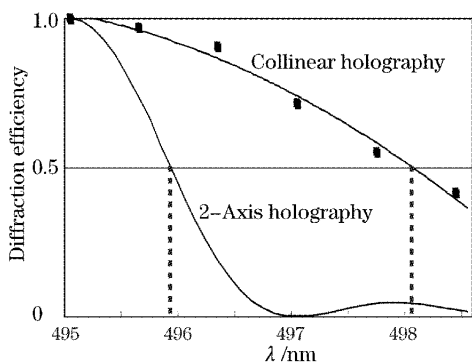


图 6 同轴光全息技术的再现信息光的衍射效率随光源波长变化的曲线图与“双光束干涉法”比较  
Fig. 6 Wavelength margin analysis by the diffraction efficiency from collinear holography and 2-axis holography

度。因此在实现小型化低成本的同轴式光全息存储器时半导体激光器是它的理想激光光源。

## 4 结 论

同轴式光全息存储技术是利用信息光与参考光沿同一光轴传播,用同一只显微物镜记录、再现信息的方式来完成数字信息的存取过程的。具有反射层的光盘结构,使系统装置在低成本和小型化等方面较“双光束干涉法”更容易实现。数字图像的记录和再现实验证明了同轴式光全息存储的基本原理是正确的。实验数据的分析和计算结果证明了同轴式光全息存储技术在对光盘的角度偏差容限和光源波长容限的这两方面均优于传统的“双光束干涉法”。同轴式光全息存储技术是大容量、高速度、小型化及低成本光学存储器的最佳候选。

**致谢** 作者非常感谢东京大学生产技术研究所黑田志村研究室提供的染料激光器以及实验设备。同时感谢黑田和男教授,志村努教授,藤村隆史助手等给予的帮助和支持。

## 参 考 文 献

- 1 P. J. van Heerden. Theory of optical information storage in solids [J]. *Appl. Opt.*, 1963, **2**(4): 393~400
- 2 For examples, H. J. Coufal, D. Psaltis, G. T. Sincerbox. *Holographic Data Storage* [M]. Berlin: Springer, 2000
- 3 X. Tan, O. Matoba, T. Shimura *et al.*. Improvement in holographic storage capacity by use of double-random phase encryption[J]. *Appl. Opt.*, 2001, **40**(26): 4721~4727
- 4 Wan Yuhong, Tao Shiquan, Yuan Wei *et al.*. Experimental study on high-density holographic disk storage with batch thermal fixing[J]. *Chin. J. Lasers*, 2005, **32**(3): 361~364 (in Chinese)  
万玉红, 陶世荃, 袁 犇等. 高密度盘式全息存储及其热固定的实验研究[J]. *中国激光*, 2005, **32**(3): 361~364
- 5 H. Horimai, X. Tan. Advanced collinear holography[J]. *Opt. Rev.*, 2005, **12**(2): 90~92
- 6 H. Horimai, X. Tan, J. Li. Collinear holography[J]. *Appl. Opt.*, 2005, **44**(13): 2575~2579