

文章编号: 0258-7025(2003)Supplement-0077-02

# 5 Gbits/cm<sup>3</sup> 体全息存储系统

刘国栋, 何庆声, 黄雄斌, 邬敏贤, 金国藩  
(清华大学精密仪器与测量国家重点实验室, 北京 100084)

**摘要** 介绍使用增加存储页面的数据量、存储图幅数、减小存储空间等方法,使得存储系统提高到 5 Gbit/cm<sup>3</sup>。

**关键词** 信息光学; 体全息存储; LiNbO<sub>3</sub>:Fe

**中图分类号** TP333.4\*2 **文献标识码** A

## 5 Gbits/cm<sup>3</sup> Hologram Storage System

LIU Guo-dong, HE Qing-sheng, HUANG Xiong-bing, WU Min-xian, JIN Guo-fan  
(State Key Lab. of Precision Measurement Technology and Instrument, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract** Increasing the data size of one page, storing more holograms, reducing the used space are the main methods to increase the data density to 5 Gbit/cm<sup>3</sup>.

**Key words** information optics; hologram storage; LiNbO<sub>3</sub>:Fe

### 1 引言

体全息存储具有超高密度、超快读出速度等优点,自20世纪60年代以来,研究目标已经由简单的提高存储图幅数转变为提高有效数据存储密度<sup>[1-3]</sup>。1998年,我们实现了在一个公共区域中角度复用存储1000幅可再现的全息图<sup>[3]</sup>。为了提高系统的存储容量,并保证存储图像质量,采取了以下手段:使用谱面存储代替像面存储,解决读出图像不均匀现象;使用大数据页的空间光调制器(XGA2 MINIATURE LCD),页面数据量增加到1024×768;优化参考光斑大小,提高存储密度;使用离焦法,结合空间复用技术,进一步提高存储容量,最终得到5 Gbit/cm<sup>3</sup>存储系统,如图1所示。

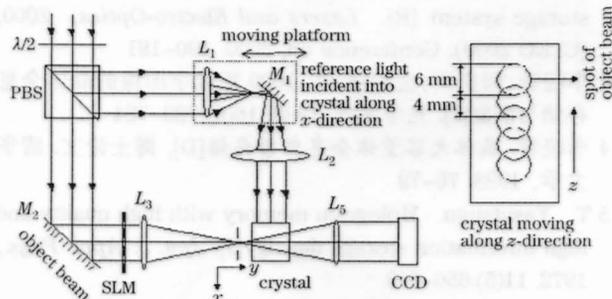


图1 全息存储系统

Fig.1 Hologram storage system

### 2 系统优化

#### 2.1 谱面存储系统

LiNbO<sub>3</sub>:Fe 晶体存在吸收,当像面存储时,读出图像一般是不均匀的<sup>[4]</sup>。晶体吸收引起读出图像不均匀的情况可以表示为

$$I_d(x) = I_{r0} B^2 \exp(-2\alpha x) \quad (1)$$

$I_d$  为衍射光强,  $I_{r0}$  为参考光初始光强,  $\alpha$  为吸收系数,  $B$  为常数。如果使用谱面存储,通过 SLM 的物光  $o(x_0, y_0)$  经过两次傅里叶透镜后,成像在 CCD 上

$$o'(x^2, y^2) = I_{r0}^2 B o(x^2 + \alpha \lambda f, y^2) \quad (2)$$

(2)式说明:谱面存储时,读出像相对于没有吸收的系统只是横向移动了  $\alpha \lambda f$  的距离,不存在不均匀的情况。

#### 2.2 优化存储谱面的大小提高存储密度

使用高数据量的 SLM,在不失真的情况下,存储尽可能小的谱面,成为提高存储密度的重要问题之一。根据单个像素的尺寸结构,成像结果很容易得到

$$\left[ \text{rect} \frac{y}{b} * \text{sinc} \frac{c\pi y}{\lambda f} \right] \left[ \text{rect} \frac{x}{a} * \text{sinc} \frac{c\pi x}{\lambda f} \right] * \sum_{m=1}^{N_1} \sum_{n=1}^{N_2} \text{light}(n, m) \delta(x - nd) \delta(y - md) \quad (3)$$

式中玻耳函数  $\text{light}(n, m)$  表示在点  $(n, m)$  的像素的亮暗情况, 0 表示像素暗, 1 表示像素亮;  $a, b$  分别代

基金项目: 国家重点基础研究 973 项目(G19990330)和清华大学 985 学科建设光信息存储项目资助。

作者简介: 刘国栋(1977.1-),男,江西人,在读博士生,主要从事体全息存储研究。E-mail:ling99@mails.tsinghua.edu.cn

表像素的横向与纵向宽度  $16\ \mu\text{m}$  和  $23\ \mu\text{m}$ ;  $d$  代表像素周期  $26\ \mu\text{m}$ ;  $c$  代表谱面采样大小。存储系统需要得到的是像素周期  $d$ , 而不是像素的细节  $a$  和  $b$ ; 同时经验证明, 只要记录像素衍射的  $0.5\sim 0.8$  倍艾里斑大小<sup>[9]</sup>, 再现时像质没有很明显的衰减; 所以  $c$  的大小应当能够使光栅周期为  $d$  的  $0$  级,  $\pm 1$  级谱面通过。

### 2.3 使用离焦与空间复用方法提高存储密度

谱面存储时, 大部分能量集中在零级谱上。对于一块均匀的存储材料, 各点的动态范围是相同的, 当零级谱位置存储已经达到动态范围饱和时, 其他位置尚未饱和, 严重影响了存储密度的提高。为了解决这个问题, 采取了离焦的方法。使用离焦方法后, 谱面有一定的扩展, 其大小可以计算为<sup>[9]</sup>

$$c' = c + \frac{\Delta}{f}L \quad (4)$$

$\Delta$  为离焦距离,  $L$  为 SLM 的对角线尺寸 ( $33\ \text{mm}$ )。为了将大小为  $c$  的谱面存储在晶体中, 参考光斑直径应当大于  $c'$ , 当离焦  $\Delta/f$  为  $6\%$  时,  $c' = 6\ \text{mm}$ 。离焦

后, 使用空间复用的方法, 实验证明这样效果很好, 再现图像质量没有明显下降。

## 3 存储结果

如图 1 所示, 使用波长为  $514.5\ \text{nm}$  的氩离子激光器光源; 直径为  $6\ \text{mm}$ , 功率为  $59\ \text{mW}$  的参考光通过透镜  $L_1$ , 反射镜  $M_1$  及透镜  $L_2$  沿  $x$  方向到达晶体, 其中  $L_1$  和  $M_1$  被固定在精密工作台  $S$  上, 通过计算机控制  $S$  的左右移动, 可精密调整参考光入射角度; 最大能量为  $0.6\ \text{mW}$  的物光通过 SLM 及傅里叶变换透镜  $L_3$  沿  $y$  方向到达晶体, 离焦后谱面直径为  $6\ \text{mm}$ ; 记录晶体为  $1.6\ \text{cm} \times 1.6\ \text{cm} \times 3\ \text{cm}$ , 掺铁  $0.02\%$  的  $\text{LiNbO}_3:\text{Fe}$  晶体。  $z$  方向移动晶体, 实现空间复用; 共移动  $5$  个位置, 每个位置角度复用存储  $1000$  幅全息图, 相对上一个位置移动距离为  $4\ \text{mm}$ 。总存储容量为:  $3.9\ \text{Gbits}$ ; 存储体积为:  $(0.6+4 \times 0.4)\ \text{cm} \times 0.6\ \text{cm} \times 0.6\ \text{cm}$ ; 得到  $5\ \text{Gbits}/\text{cm}^3$  的存储密度。

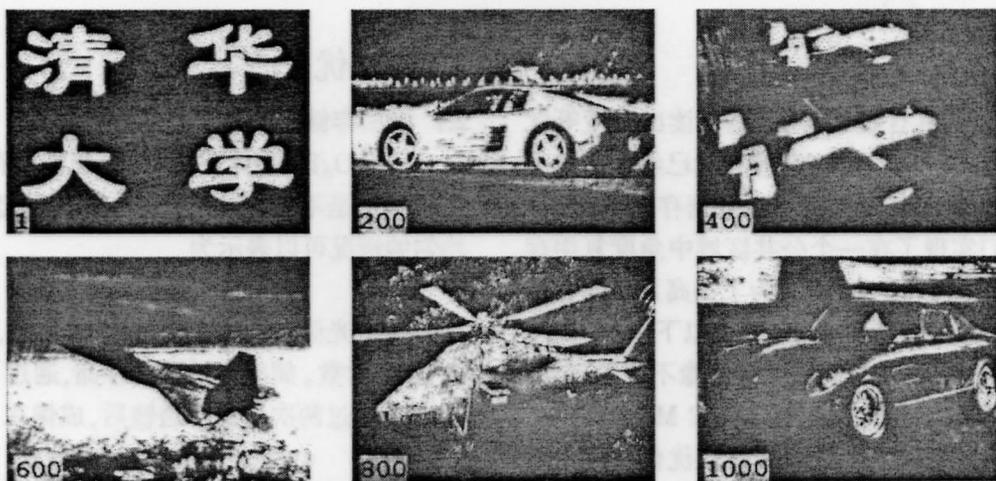


图 2 第 3 个位置中 1000 幅全息采样读出情况

Fig.2 1000 reconstructions at the 3rd position

## 4 总结

本文讨论了谱面存储的优化方法, 采用空间复用方案, 实现了  $5000$  幅可再现全息图的存储, 使存储系统的存储密度达到  $5\ \text{Gbits}/\text{cm}^3$ 。

### 参考文献

- 1 G. W. Burr, C. M. Jefferson *et al.*. Volume holographic data storage at an areal density of  $250\ \text{gigapixels}/\text{in}^2$ [J]. *Opt. Lett.*, 2001, **26**:444~446
- 2 S. S. Orlov, E. Bjornson, W. Phillips *et al.*. High transfer

rate ( $1\ \text{Gbit}/\text{s}$ ) high-capacity holographic disk digital data storage system [R]. *Lasers and Electro-Optics*, 2000, (CLEO 2000). Conference on, 2000. 190~191

- 3 李晓春, 何庆声, 金国藩 等.  $1000$  幅数字图像的晶体全息存储与恢复[J]. *光学学报*, 1998, **18**(6):723~724
- 4 李晓春. 晶体大容量体全息数据存储[D], 博士论文. 清华大学, 1998. 76~79
- 5 T. Yasutsugu. Hologram memory with high quality and high information storage density[J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1972, **11**(5):656~665
- 6 吕乃光. 傅立叶光学[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1998. 99~100