

一种可用于计算机编码全息图的 微小光斑系统

刘雪峰 裴敏* 孙军强 黄德修

(华中理工大学光电子工程系 * 电子信息工程系, 武汉 430074)

提要 提出一种可用于生成计算机编码全息图的微小光斑光学系统,该系统结构小巧,稳定性良好,对防尘、减震的要求大为降低;分辨率高,所形成的相干光斑尺寸小于0.1 mm;光学系统与光源之间采用光导纤维相连接,具有良好的柔韧性。该系统有可能与激光器、计算机、平面驱动伺服系统一起构成一种全新的全息光栅图像制作系统。

关键词 计算机编码全息图,微小光斑光学系统

1 计算机编码全息图的原理

计算机编码全息图是一种新型的计算全息图,由于这种计算全息图无需象计算全息那样计算整个全息图的光场分布,而是将计算工作集中于图案的编码,因此可以根据人们的需要制作显示全息图和光栅图案。目前,该方法已成功地用于全息装饰材料 and 编码全息图像等领域。

一幅完整的编码全息图可由计算机根据所要求的色彩和衍射光再现方向对两束光的交角和构成平面的法线方向进行编码,然后控制两束相干光逐点在记录介质上进行曝光,记录两束相干光干涉后形成的光栅而形成。

在这种生成方式下,整幅计算机编码全息图的分辨率(线对数/毫米)等于相干光斑线度的倒数;因此,光斑愈小,分辨率愈高。

现有的计算机编码全息图生成系统中,由于受到光学元件尺寸、激光器相干长度以及整个光学系统的空间设置等方面的限制,用于编码的光斑尺寸较大(~ 1 mm),因此,制做出的计算机编码全息图分辨率较低;同时,现有的光学系统一般都采用旋转、平移反射镜的方式来实现逐点曝光,这就使得整个系统结构复杂、庞大,必须采用减震、防尘等保护措施。

本文提出一种可用于生成计算机编码全息图的微小光斑光学系统(已申请国家专利),该系统结构小巧(外形尺寸可小到 $5 \times 5 \times 30$ mm³);大部分光学元件之间采用胶合方法连成一体,因而稳定性良好,对防尘、减震的要求大为降低;在器件输出透镜的焦平面上所形成的相干光斑直径小于0.1 mm,有利于提高分辨率;光学系统与光源之间采用光导纤维相连接,使之具有良好的柔韧性。该系统所具有的一系列优点使之有可能与激光器、计算机、平面驱动伺服系统一起构成一种全新的、类似于笔式绘图仪的全息光栅图像制作系统。

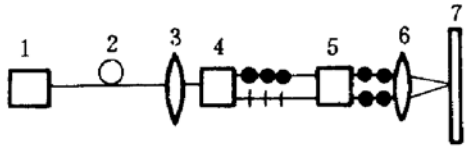


Fig. 1 Structure of optical microspot system

1: optical source; 2: optical polarization-maintained fiber;
3: collimate lens; 4: polarization splitter; 5: selective
rotating crystal; 6: focus lens; 7: recording medium

2 微小光斑光学系统的工作原理

微小光斑光学系统的结构如图 1 所示。由激光器输出的线偏振相干光经过透镜系统耦合入一段偏振保持光纤, 光纤的另一端置于一个准直透镜的焦点上, 以使得输出为线偏振平行光。该线偏振平行光入射到一个偏振分光器件后, 被分解为两束偏振方向正交的平行光束 (o 光和 e 光) 并射入一个选择性旋光晶体。该晶体的特点是只

对入射的两束平行光中具有特定偏振方向的一束光(如 e 光) 进行 90° 旋光, 这样由该晶体出射的两束光就成为偏振方向一致的线偏振平行光(如 o 光); 该两束平行光射入一个焦距为 f 的会聚透镜后, 即可在位于其后焦面的记录介质上产生干涉条纹。

两相干光束以一定的交角 2α 在空间相迭加时形成等间隔、等宽度干涉直条纹, 其空间频率为^[1]

$$F = \frac{1}{\Delta x} = \frac{2\sin \alpha}{\lambda} \quad (\text{mm}^{-1}) \quad (1)$$

其中, Δx 为条纹间隔的倒数。

在本系统中, 两平行光束相干时的交角 2α 与会聚透镜焦距 f 及两平行光束的中心距 D 有关

$$2\alpha = 2\arctg(D/2f) \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)得

$$F = \frac{1}{\Delta x} = \frac{2\sin[\arctg(D/2f)]}{\lambda} \quad (3)$$

对于 $f \gg D$ 的情况, 有 $\text{tg}\alpha = \sin\alpha = \alpha$, 则

$$F = \frac{1}{\Delta x} = \frac{D}{\lambda f} \quad (4)$$

由式(3)和(4)可知, 空间频率取决于 D 和 f 。平行光束的中心距 D 由偏振分光器件的结构决定; 一般来说, 由偏振分光器件输出的光束中心距 D 是不可变的, 那么, 对于结构确定的微小光斑光学系统而言, 空间频率的改变只有通过改变会聚透镜的焦距而得以实现。

干涉条纹的对比度对于衍射效果有直接的影响。对于双光束干涉的情况, 条纹对比度在发生干涉的两束光的强度相等时可获得最佳值。为此偏振保持光纤的特征方向应与偏振分光器件的光束出射面成 45° 夹角。

该系统中, 分辨率与输出透镜的成像质量有密切的关系, 输出透镜的像质愈好, 像差愈小, 则两相干光束在输出透镜的焦平面上所形成的相干光斑直径就愈小, 系统分辨率则愈高。

3 实验结果与分析

为了验证该微小光斑光学系统的可行性, 我们进行了初步的原理性实验。所用的微小光斑光学系统结构与文献[2]所报道的相同(但作用完全不同), 由于系统的结构尺寸与入射光波长有关, 因而本文所报道的实验结果均是在 $1.3 \mu\text{m}$ 波长上取得的。

为减少整体尺寸,实验系统采用了如下措施:准直透镜采用与标准单模光纤联为一体的 $1/4$ 截距自聚焦棒透镜,其特点是结构小巧,外径仅为 3 mm ,由自聚焦棒透镜输出的准直光斑直径为 0.5 mm ;偏振分光器采用的是方解石晶体,晶体的通光面与光轴成 48° 角,入射面为主截面,整个器件的外形为 $5\times 5\times 8\text{ mm}^3$,由分光器件输出的平行光束中心距为 1.2 mm ;自聚焦棒透镜、偏振分光器及选择性旋光晶体三者共轴胶合在一个金属支架上。由于入射光纤为标准单模光纤而不是偏振保持光纤,故在入射光纤上还加有机械式偏振控制器以保证由单模光纤输出的光束为线偏振光,且偏振方向与方解石分光器的光束出射面成 45° 夹角。

实验中,我们将标准单模光纤的一端固定在精度为 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的精密调节架上,在会聚透镜(焦距为 15 mm 的消球差组合透镜)的焦平面上沿干涉条纹排列的方向扫描探测(光纤的另一端连接在探测器上),由于标准单模光纤芯径为 $9\text{ }\mu\text{m}$,故只要干涉条纹间隔大于光纤芯径,即可在探测器上反映出干涉条纹峰值和间隔。

图 2 为测试结果。图中相邻两峰值的间隔为 $18\text{ }\mu\text{m}$,与理论计算值($16.25\text{ }\mu\text{m}$)基本一致;各峰值顶部近似形成一高斯包络,其原因可认为是光在单模光纤中的分布是准高斯的,因而准直及会聚后的光斑也近似为高斯形分布;与一般的干涉条纹所不同的是,图 2 中各条纹谷底光强不等,这主要是由于我们所采用的单模光纤芯径与条纹间隔相近,因而引入了测量误差,实际上,图 2 反映的是干涉条纹族与一个有限测量孔径的积分效果,而不是条纹的实际光强分布;不过,这种误差只影响对条纹实际形状的确定,而不影响对条纹间隔的测量。

由图 2 可见,该微小光斑系统的最小光斑直径为 0.06 mm ,且光斑内可以产生清晰的干涉条纹,因而完全可以用于计算机编码全息图的产生。实验中,在换用会聚效果更好的透镜(如高倍率显微物镜)后,该微小光斑系统的最小光斑直径可小于 0.01 mm 。

参 考 文 献

- 1 王其祥 编著. 工程光学原理. 南京:江苏科学技术出版社,1983. 319
- 2 刘德明. 全光学偏振自动控制器. 光学学报,1993, 13(12): 1120

A Novel Optical Microspot System for Computer-Generated Coding Holography

Liu Xuefeng Pei Min Sun Junqiang Huang Dexiu

(Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074)

Abstract A novel optical microspot system is presented in this paper, which can be used in computer-generated coding holography. It has the advantages of compact structure, good reliability, high resolution, and small spot diameter ($<0.1\text{ mm}$), etc. So it can possibly build a new kind of holographic grating printer with laser, computer and planar drive, as well as a servo system.

Key words computer-generated coding holography, small optical-spot system

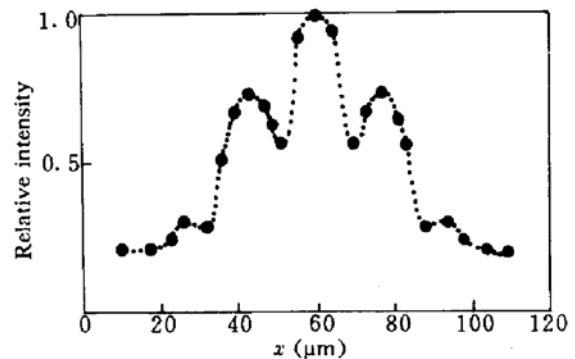


Fig. 2 Experimental result of transverse scan of microspot