

文章编号: 1005-5630(2015)06-0471-04

点阵全息防伪标识的衍射效率测量研究

吴警政¹, 许忠保^{1,2}, 周胜飞¹

(1. 湖北工业大学 机械工程学院, 湖北 武汉 430068; 2. 湖北省现代制造质量工程重点实验室, 湖北 武汉 430068)

摘要: 提出了一种测量点阵全息图衍射效率的方法, 搭建了光学系统。通过在系统光路中放置平面反射镜, 巧妙地将正负一级衍射光与其他级次的衍射光分离开, 使光电探测器只接收正负一级衍射光, 并且这种测量方法不受被测点干涉条纹方向变化的影响; 在激光器后面放置一个半透半反波片, 用两个相同的光电探测器分别实时测量反射光和衍射光的功率, 降低了由于激光器功率不稳定造成的测量误差, 得到八种不同的点阵全息防伪标识的衍射效率的测量结果。

关键词: 全息防伪标识; 衍射效率; 光电探测器

中图分类号: TH 702 **文献标志码:** A **doi:** 10. 3969/j. issn. 1005-5630. 2015. 06. 001

Measurement of diffraction efficiency of dot-matrix-holographic security indentifiers

WU Jingzheng¹, XU Zhongbao^{1,2}, ZHOU Shengfei¹

(1. School of Mechanical Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China;

2. Key Laboratory of Modern Manufacturing Quality Engineering of Hubei Province, Wuhan 430068, China)

Abstract: A measurement method of diffraction efficiency of dot-matrix holography was proposed and an optical system was built. The first order (positive and negative) diffractive beams were separated from the zero and second ones skillfully by placing a plane reflect mirror within the system optical path to make a photodetector receive the first order (positive and negative) diffractive beams only. The direction variation of interference fringe cannot affect the experiment value. A half-wave plate was placed behind the laser and the power of the reflected beams and diffractive beams were received by two same photodetectors. At last the diffraction efficiency of eight different holographic security indentifiers were calculated.

Keywords: holographic anti-counterfeit indentifiers; diffraction efficiency; photo-detector

引 言

全息防伪是应用激光全息技术发展起来的一种新型防伪技术^[1]。我国在 20 世纪 80 年代引入模压全息技术并将它与全息制版技术结合起来用于产品防伪标识的制作, 由于这样的防伪标识性能稳定, 与产品包装结合较好, 适应性强, 防伪和装饰统一, 因此在防伪行业中占据着越来越重要的位置^[2]。由于制作激光全息防伪标识生产设备产量高、占地面积小、用人少、利润高, 人们争相进入这个行业, 很多质量参差

收稿日期: 2015-04-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61077086); 湖北省重点自然科学基金资助项目(2011CDA007)

作者简介: 吴警政(1988—), 男, 硕士研究生, 主要从事光学成像、光电检测方面的研究。E-mail: xuzhangb@163.com

不齐的全息防伪标识被制作出来,严重影响了全息防伪标识的防伪功能。因此为了充分发挥全息防伪标识的防伪能力,需要对防伪产品的制作质量进行检测和把关。由于全息防伪标识的本质是一种具有光栅状结构的全息图,当再现光照射在全息图上时会发生衍射,衍射光构成物体的再现像,再现像的质量可以在一定程度上反映标识的制作质量好坏,因此可以将标识的衍射效率作为衡量其制作质量好坏的一个重要指标^[3]。尽管依据防伪全息产品的国家标准^[4]已研制出一种检测仪^[5],但由于其对于激光器输出功率稳定度要求很高,并且只能应用于彩虹全息图衍射效率的测量,不仅提高了检测成本,还使得测量精度的提高以及检测方法的应用与普及受到了很大的限制。针对这个问题,本文对防伪全息产品衍射效率的测量方法做了进一步的研究,在原有方法^[6]的基础上提出一种能够应用于点阵全息图衍射效率测量的方法。该方法通过将正负一级衍射光与其他级次的衍射光分离,通过对入射光强和衍射光强的实时测量,得到标识的衍射效率,减小了系统对光源功率稳定度的依赖,实现了对点阵全息防伪标识负一级衍射光功率的精确测量。

1 全息防伪标识制作原理

最初被广泛使用的全息防伪标识是一种利用二步彩虹全息技术^[7]制成的模压全息图。依据 GB/T17000—1997《防伪全息产品通用技术条件》,再现光以一定的入射角照射在彩虹全息标识上面,在标识的法线附近用聚光系统汇聚后用光电探测器接收衍射的负一级光,将负一级光的功率与照射至全息标识表面的光功率之比作为标识的衍射效率。随着激光直写技术的发展,产品防伪标识越来越多的采用计算机控制的双束光干涉点阵直写技术^[8]来制作点阵全息图。双束光干涉形成点阵全息图的每一个像点。两束光所在的平面方位决定了干涉条纹的方向,两束光的夹角决定了干涉条纹的空间频率。

由于彩虹全息防伪标识的负一级衍射狭缝很长,GB/T17000—1997《防伪全息产品通用技术条件》里选用了通光孔径大通光口径(≥ 300 mm),大相对孔径($\geq 1:1$)的球面反射系统来汇聚,然后由光电探测器接收,但由于制作方法和原理的不同,彩虹全息图衍射效率的测量方法不能用来测量点阵全息图的衍射效率,下面将给予理论分析。

2 理论分析

目前国内外计算机控制的点阵全息图的干涉条纹的空间频率在 $600\sim 1\,000$ lp/mm,故全息图的微光栅的周期在 $1\sim 2$ μm ,而激光束入射到全息图上的椭圆光斑的长轴在 $0.8\sim 1.2$ mm 左右,远大于光栅微元的直径。因此在激光光斑照射在全息图的区域可能有很多不同空间周期、不同空间转角的微光栅。

当光通过光栅衍射后,各正负级次衍射光将在零级光(反射光)两侧对称分布,但由于在激光照射区域内有很多不同周期、转角的微光栅,那么当激光斜入射至全息图时,微光栅衍射产生的各级衍射光的分布将会很复杂,产生的负一级光有可能与别的级次的衍射光混合在一起,如图 1 所示。在测量彩虹全息图的衍射效率时,为了接收在全息图平面法线附近衍射的负一级狭缝像,汇聚系统采用大口径的球面反射系统,但当激光倾斜照射点阵全息图时,多级衍射光就有可能都进入汇聚系统,而采用彩虹全息图衍射效率测量方法来测量点阵全息图衍射效率的结果也证明了进入聚光系统的不只是负一级的衍射光^[9]。由此可知 GB/T 17000—1997 防伪全息产品通用技术条件中测量彩虹全息图衍射效率的方法不能准确测出点阵全息图的衍射效率。

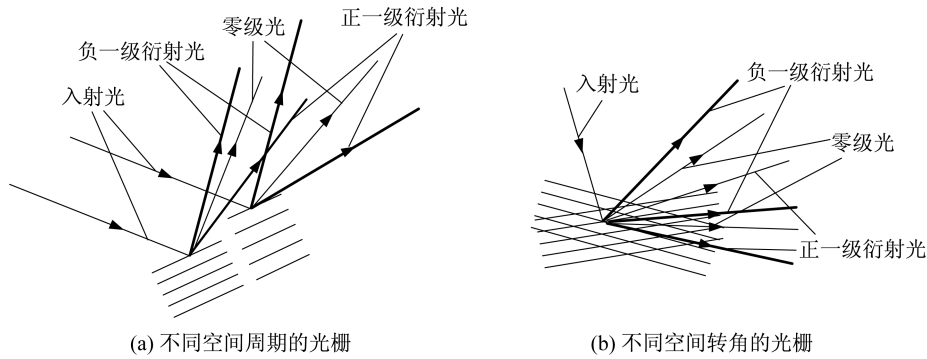


图 1 不同空间周期、转角的光栅的衍射光分布

Fig. 1 The distribution of diffracted light of different orders and input angles

假设在激光照射区域内有三种空间周期分别为 $1.5 \mu\text{m}, 1.7 \mu\text{m}, 1.9 \mu\text{m}$ 的微光栅,由光栅衍射方程

$$\Lambda_x = \frac{m\lambda_x}{\sin i \pm \sin \theta} \tag{1}$$

式中: Λ_x 为微光栅的空间周期; m 为衍射光的级次,取 $\pm 1, \pm 2 \dots$; λ_x 为入射的光波波长; i 为入射角; θ 为衍射角。当激光正入射至防伪标识时,即式中的 i 为 0 时,由公式(1)可以求得正负一二级衍射光的衍射角,将它们画在同一个坐标中,如图 2 所示。

图中的各级衍射光中由粗到细的光线依次为激光照射到周期 $1.5 \mu\text{m}, 1.7 \mu\text{m}, 1.9 \mu\text{m}$ 上的微光栅得到的衍射光。由图 2 发现,虽然在激光照射区域有三种不同周期、不同空间转角的微光栅,但当入射光以 0° 角入射即正入射时正负各级衍射光分别在光栅平面法线的两侧,且正负一级光与正负二级光之间有一定的夹角,如果在衍射光进入汇聚系统之前设法挡住零级光并选择合适口径的聚光系统,则可以只记录正负一级衍射光的功率,然后将所得功率除以 2 便可得到负一级衍射光的功率。

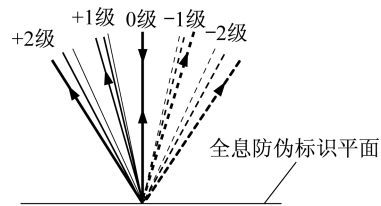


图 2 正入射时得到的衍射光分布示意图

Fig. 2 The distribution of diffracted light for normal input

3 衍射效率测量实验系统和测量结果

采用如图 3 所示的光路对点阵全息图衍射效率进行测量。波长为 632.8 nm 的 He-Ne 激光器发出的光经过焦距为 400 mm 的傅里叶透镜和一个透反比一定的半透半反波片之后反射光被光电探测器 1 接收记录光强,透射光经过一个体积很小的平面反射镜反射后垂直照射在全息防伪标识平面上,透射光在平面反射镜上聚于一点,由图 3 可知正负一级和正负二级的衍射光分别在全息图平面法线的两侧,平面反射镜将零级光挡住,再选择合适口径的聚光系统仅让正负一级的衍射光进入聚光系统,最后用相同的光电探测器 2 记录光强,即得到 ± 1 级衍射光的光强。光电探测器 1、2 接收的光强分别为 I_r, I'_r ,激光经过半透半反波片后的透射光强为 I_0 ,半透半反波片的透反比为 G ,若不考虑透射光经过平面反射镜以及衍射光经过聚光系统的光能量损失则由衍射效率的定义得

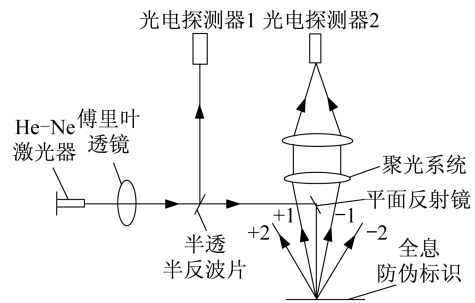


图 3 点阵全息图衍射效率测量系统结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of measurement system for diffraction efficiency of dot-matrix-holography

光电探测器 1、2 接收的光强分别为 I_r, I'_r ,激光经过半透半反波片后的透射光强为 I_0 ,半透半反波片的透反比为 G ,若不考虑透射光经过平面反射镜以及衍射光经过聚光系统的光能量损失则由衍射效率的定义得

$$\eta = \frac{I'_s}{I_o} = \frac{I'_s}{GI_r} \quad (2)$$

实际测量光路如图 4 所示。激光器发出的光经过 400 mm 傅里叶透镜和半透半反波片后聚焦在平面反射镜上,全息防伪标识正负一级衍射光经过 450 mm 傅里叶透镜聚焦在右边的 LX1010B 照度计上。半透半反波片反射的光被左边的 LX1010B 照度计接收。

在工作时,由于温度的变化,激光器腔长发生微小变化,这将引起纵模漂移,导致输出功率起伏变化很大,即使采用稳压电源或稳流装置,也不能输出稳定功率,因此传统的先测定入射光的功率,然后测量衍射原始像的功率,两次测量的时间不同,He-Ne 激光器功率的漂移将给测量结果造成很大的误差。若选用温控稳频激光器系统成本又太高,因此在光路中加入一个半透半反波片,由于激光通过半透半反波片后反射光和透射光的功率比值一定,因此通过光电探测器 1 和光电探测器 2 可以实时的记录反射光和衍射原始像的功率。透射光功率可以通过反射光功率计算得到,这样就可以消除激光器功率漂移带来的测量误差^[10]。

在测量全息图衍射效率之前,放在半透半反波片之后的照度计测量透射光的强度,将其与左边照度计示数的比值作为半透半反波片的透反比,得到 $G=945/46\ 000$ 。

利用上述测量系统测得的八个标识的测量结果如表 1 所示。

4 结 论

文章提出了一种测量点阵全息防伪标识全息图衍射效率的方法,通过在实验中用平面反射镜挡掉零级衍射光,测量了正负一级衍射光的衍射效率。通过在激光器后面添加半透半反波片,避免了激光功率不稳定造成的测量误差,实时测量了点阵全息图的衍射效率。文章的研究内容对于全息防伪产品的应用有重要意义。

参考文献:

[1] 陈林森,胡祖元. 模压全息技术与生产现状[J]. 激光与红外,1995(2):41-43.
 [2] 薛强. 防伪全息技术在包装产品中的应用发展.[J]. 中国防伪,2004(1):40-41.
 [3] 孟卓. 激光全息防伪标识参数测量方法研究[D]. 天津:天津大学,2005.
 [4] 国家技术监督局 GB/T 17000—1997. 防伪全息产品通用技术条件[S]. 北京:中国标准出版社,1997.
 [5] 天津大学. 防伪全息产品特性参数检测方法 & 检测仪:中国,2006 10013077. 8[P],2006-08-09.
 [6] 曹玉琳. 激光全息防伪标识的机器识别系统[J]. 激光与红外,2000,30(4):214-215.
 [7] 苏显渝,李继陶. 信息光学[M]. 北京:科学出版社,1999:137-138.
 [8] 周万根. 基于 LCOS 数字光变图像光刻方法研究[D]. 武汉:湖北工业大学,2012.
 [9] 哈流柱,李春香,周扬斌,等. 点阵全息图衍射效率的测量[J]. 光学技术,2008,34(3):435-436,440.
 [10] 何瑾,刘铁根,孟卓,等. 改进的防伪全息标识衍射效率测量系统[J]. 光电工程,2007,34(9):89-92,96.

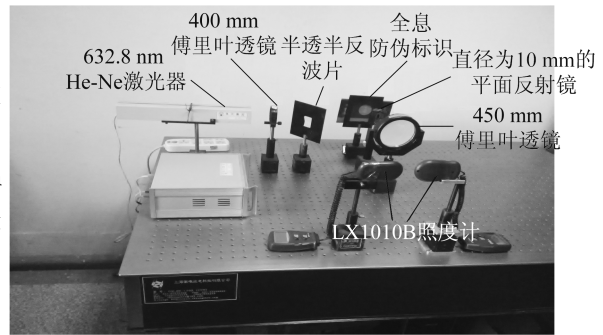


图 4 点阵全息防伪标识衍射效率实际测量光路
 Fig. 4 The experimental setup of measurement system for diffraction efficiency of dot-matrix-holography

表 1 八种不同点阵全息防伪标识衍射效率测量结果
 Tab. 1 The measured results for eight different dot-matrix-holographic security identifiers

标识序号	+1 级衍射光/lx	-1 级衍射光/lx	反射光/lx	衍射效率/%
1	16 320	8 160	928	18.0
2	13 640	6 820	935	15.0
3	18 500	9 250	934	20.3
4	14 400	7 200	934	15.8
5	18 160	9 080	934	20.0
6	15 600	7 800	936	17.1
7	17 086	8 543	937	18.7
8	18 700	9 350	937	20.5

(编辑:张 磊)