

文章编号: 0258-7025(2004)10-1212-05

光变图像光栅条纹高效率转移 组版系统的研制

沈 雁, 陈林森, 周 望, 解剑锋, 汪振华, 陆志伟

(苏州大学信息光学工程研究所, 江苏 苏州 215006)

摘要 制作具有光变图像(OVD)光栅条纹的大面积全息原版,是激光图像无油墨印刷的核心技术之一。提出一种通过在金属镍母版表面高频感应加热和快速加压的工艺方法,在压敏材料上实现了微米级精细光栅条纹的高效率快速转移,其阵列式的转移复制方式实现了大面积光变图像的制作。研制了用于光变图像光栅条纹大面积复制的新型智能化组版系统,并对此智能化组版系统的结构和工作原理作了阐述。同时,对影响光栅条纹转移复制的几个方面作出了分析。对复制前后的光变图像光栅进行的测试表明,转移后光栅的衍射效率可以高于母光栅。研制的这一新型智能化组版系统可转移复制的组版面积达 1000 mm×1600 mm。

关键词 图像处理;光变图像;光栅;转移复制

中图分类号 O 438.1 **文献标识码** A

Efficient Grating Transferring System for Recombining Optically Variable Device

SHEN Yan, CHEN Lin-sen, ZHOU Wang,
XIE Jian-feng, WANG Zhen-hua, LU Zhi-wei

(Institute of Information Optical Engineering, Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215006, China)

Abstract The technology to make a large area master with the grating of optically variable device (OVD) is role in holographic image embossing. A computerized recombining system is designed for transferring the grating of the optically variable device onto the surface of the pressure-sensitive materials with high efficiency. The induced heating device is used to heat the nickel shim quickly so that the temperature on the surface of the shim can be adjusted precisely. The system can produce a large area OVD plate transferred it with the method of array. The properties of the OVD's on the nickel plates before and after transferring process are measured and analyzed. The principle of the recombining system is explained. Some aspects to affect the quality of transferring are given. The results show that the diffraction efficiency of transferred OVD can be higher than that of original shim. The size of recombining OVD plate can be achieved up to 1000 mm×1600 mm.

Key words image processing; optically variable device; grating; groove transfer

1 引 言

随着激光全息技术尤其是数码光变图像(OVD)技术的发展^[1],在数码光变图像的工业化应用中,需要解决大幅面的光变图像的浮雕型微米级

条纹的快速复制组版问题,用于制作激光图像无油墨印刷中的母版,这种大面积光变图像技术是激光无油墨印刷的核心技术之一。浮雕光栅的复制技术比较成熟^[2],复制光栅的品质与母光栅的品质几乎相同,但是,这种方法仅限于一对一的光栅复制,当

收稿日期:2003-05-15;收到修改稿日期:2003-07-21

基金项目:江苏省数码激光图像工程技术研究中心(编号:52-210-002)资助项目。

作者简介:沈 雁(1964—),男,苏州大学信息光学工程研究所助理研究员,主要从事光学精密机械、全息光学可变图像制作的研究。E-mail:yansh01@msn.com

需要将一个光栅在一个基面上进行阵列式或者图形式大面积多图像复制时,传统的光栅复制技术是很难解决的。

通常,光变图像的制作方法主要有几种:一种是用全息干版来记录激光的干涉条纹,形成二维或三维图像的全息摄影^[3],在设计好的光路上,通过人工调节和控制来完成,对制作具有动态效果光变图像非常困难,图像变化的方式较少;另一种方法是用激光直写技术(Laser direct-writing technology),由计算机控制精细激光束(亚微米级)在精密平台上的移动曝光,直接在光刻胶表面光刻出浮雕结构,单光束激光直写具有成本高、制作时间长、制作面积小等缺点,而不常用;双光束激光干涉直写技术^[4,5]是近年来发展起来的图像生成技术,在干涉型双光束激光照排系统中的数据文件的控制下,控制光学系统光学头中各种干涉参数(条纹取向、间隔等),在光刻胶上光刻,形成具有各种光栅分布的光学可变图像。但是,这种方法在制作幅面超过 160 mm×160 mm 的光变图像时,时间消耗和成本消耗均是不合算的,因此,通过光栅条纹快速转移复制组版技术来获得大面积高品质光变图像的要求是必然的。

本文提出了一种通过用金属光栅表面高频感应加热和在压敏材料快速加压的方法,实现了光变图像上微米级光栅精细条纹的高效率转移,给出了实验结果,解释了实验中复制后的光栅衍射效率比母光栅的衍射效率要高的原因。

2 光变衍射图像的制作原理

光学可变图像是一种新型的光栅衍射图像,其原理是,图像不同位置上有不同特性的全息光栅,光栅取向和光栅条纹间隔的不同,导致入射在图像各个位置上的白光被光栅衍射后的光线方向和色彩(波长)将不同,从而,在同一位置上观察,具有相同光栅取向组成的图像能被看到,改变观察位置,另一组具有相同光栅取向的图像能够被观察到,因此,随着观察位置的变化,光变图像的形式也发生改变。光学可变图像的示意图如图 1 所示。图 1(a)表示实际的光变图像随着观察位置的变化,图像上方斜线做缩放变化,同时也在做平移变化。图 1(b)为局部放大后的光栅取向。

光变图像是用激光双光束干涉直写系统^[4]设计制作的,首先,用专用计算机软件设计出光学可变图像的数据文件,用激光光变图像照排系统

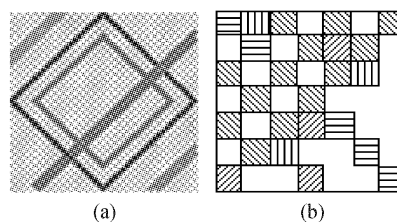


图 1 光学可变图像

(a) 光变图像随观察位置的变化;(b) 放大后的光栅取向

Fig. 1 Optical variable image

(a) optical image variable from view position;

(b) grating orientation after magnified

(HoloMaker III),通过数据文件控制光学系统光学头中形成的干涉点的条纹取向、点的曝光位置和干涉夹角等参数,在感光材料(光刻胶)上曝光,形成光化作用,再通过显影,形成浮雕型的精细光栅条纹分布,每点的光栅条纹取向不同,最终形成光学可变图像。对浮雕型光刻胶金属化后,电铸成金属镍版,便制成光学可变图像原版,这种原版是生产激光模压材料的母版。

干涉光场中形成的干涉条纹的间隔为^[3]

$$d = \lambda / 2 \sin(\theta / 2) \quad (1)$$

这里, λ 为激光波长, θ 为两对称干涉光束的夹角。干涉条纹的强度分布为

$$I = 4I_0 \cos^2[\pi x d / (\lambda A)] \quad (2)$$

这里 I_0 为入射光束的光强, A 为干涉光场的宽度。一般地,浮雕型光栅的槽深^[6,7] 取决于光刻的曝光量(正比于 I_0),光刻胶的厚度、显影液和显影时间、曝光与显影时间的加长,将使光栅槽深 h 加深。在母版光栅制作时,在保证光栅一定的衍射效率的前提下,适当提高光刻后的光栅的槽深 h ,将有利于光栅条纹转移复制。例如,对于光栅常数 d 为 $1 \mu\text{m}$ 左右的浮雕型光栅,槽深可控制在 $0.15 \sim 0.7 \mu\text{m}$ 之间。图 2 所示为处理后的光栅截面槽形的扫描电镜(SEM)照片(光栅常数为 $0.73 \mu\text{m}$),由于光刻过程中的非线性效应,光栅槽型为非正弦型分布。在光变图像上,通常具有 $0.7 \sim 2.0 \mu\text{m}$ 的不同取向的光栅点阵,构成光学可变图像。

3 实现浮雕型光变图像快速复制系统

图 3 为光变图像光栅条纹转移复制的步骤,第一,先在数码激光图像照排系统上设计并光刻出浮雕型的光变图像光刻胶版,再用金属化电铸工艺,制作出金属母版(镍版),将金属母版安装到光栅转移

系统的压印头上,对金属母版进行高频感应加热,并快速在压敏材料上压印,然后,脱离压印,进行表面冷却却使光栅条纹定型。再重复上面的所有步骤,从而实现微米级精细光栅条纹的快速高效率、大面积表面条纹转移复制和组版。

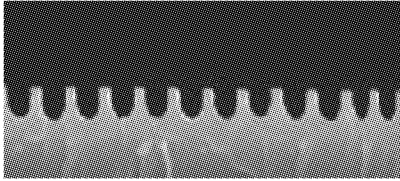


图 2 光栅槽形截面的扫描电镜照片
Fig. 2 SEM photo of grating groove

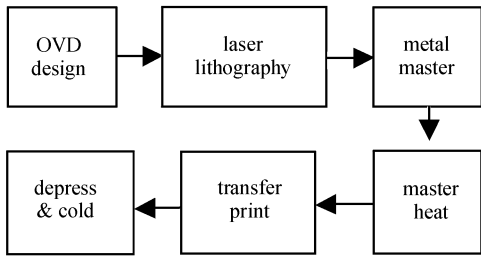


图 3 光栅转移复制流程图
Fig. 3 Diagram of grating groove transferring

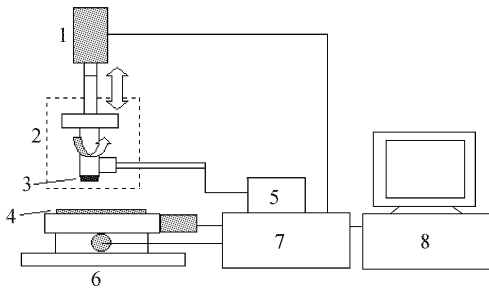


图 4 智能光变图像组版的原理示意图
1: 液压器件; 2: 旋转控制; 3: 金属光栅; 4: 塑性材料; 5: 高频快速加热控制器; 6: X-Y 坐标台; 7: 电源控制箱; 8: 计算机
Fig. 4 Scheme of digital recombiner system for OVD
1: hydraulic device; 2: rotation control; 3: metal grating; 4: plastic material; 5: high frequency heat control; 6: X-Y stage; 7: power; 8: computer

图 4 是研制的浮雕型光变图像快速转移的智能化组版系统。在计算机软件的控制下,上下运动控制器(液压系统)1 使装有光变图像母版(镍版)的压印头 3 上下运动,并提供向下的压力;压力的大小由压力传感器反馈给计算机 8,以控制压力传递的大小和时间;旋转控制器 2 控制压印的旋转,以改变光栅条纹的取向;温度控制器 5 通过高频感应加热系

统给压印头快速加热,使压印头的温度保持恒定;电源控制器 7 给步进电机提供驱动,并由计算机提供输入与输出信号;这里,系统中加热组件采用高频感应加热器件,主要是考虑到两个因素,第一,感应加热的特点是,高频电流传输有趋肤效应产生,能量迅速感应并趋肤在金属母版表面,从而,金属表面能迅速被加热。第二,由于感应加热器件本身基本不发热,一旦断开电压,便切断了高频感应电流,被加热金属没有能量来源,从而,加热系统的热惯性非常小,有利于进行精确控温。这种方法与电热(电阻)加热相比,加热迅速、控温精确(热惯性小)、温度场均匀。

将压敏材料放置在 X-Y 移动平台上,计算机控制平台移动量、压印头的压力、温度与控温时间、压印(保压)时间,逐个进行单元光变图像光栅条纹的快速复制。选择不同的温度、压力和平移位置,便可以得到组合型的光变图像光栅的组版,由于压印头还可以旋转,上述方法可以制作大幅面光变图像。

4 影响光栅条纹转移的因素

影响光变图像光栅条纹转移复制的因素有多种,主要有:金属母光栅的槽型深度,材料的压敏与导热特性,压力传感精度与保压时间控制,控温精度等。

由于光变图像光栅条纹的浮雕深度较浅(0.1~0.7 μm),因此,压印头母版平面与压敏材料平面的平行度是非常重要的,虽然,压敏材料具有一定的弹性压缩量,但是,压印头母版平面与压敏材料平面的不平行将影响光变图像光栅条纹复制的均匀性和增加光变图像边缘深度的不均匀性。对于压敏材料,希望材料应该在加热条件下具有良好的压敏特性,材料在受压后的回弹要小,克服材料的热致变形不均匀的影响,同时,在各个光变图像的相邻边界附近,进行下次转移复制时,不能或者尽可能地降低对前一次光栅条纹的影响,因此,要求压敏材料的热传导性要小,同时,材料的热容量要大。表 1 为几种塑性材料的压敏、传热参数,考虑到转移复制过程中的边界传热影响、边界缝隙的因素,虽然聚氯乙烯(PVC),聚甲基丙酸甲酯(PMMA)的压缩强度比聚碳酸酯(PC)小,但由于热变型温度低,转移复制过程中边界的传热对边界附近的光栅槽型的影响要比 PC 大。因此,选用 PC 薄片作为光变图像光栅转移复制的组版材料。

表 1 几种材料的压敏、传热参数
Table 1 Parameters of several plastics

	unit	PC	PVC	PMMA
Pressure	MPa	81.3	68.6	15.6~24.5
Temperature	℃	135	65~70	87~100
Heat conductivity	W/(m·K)	0.19	0.16~0.17	0.19
Specific heat	J/(kg·K)	1260	837~1260	1460
Refractive index	—	1.59	1.52~1.55	1.48~1.50

常温下 PC 的压缩强度为 81.3 MPa, 热传导率为 0.19 W/(m·K)。实验发现, 当母版温度在 120℃ 左右, 压缩压强调整为 0.45 MPa/cm² 时, 光栅条纹的复制质量非常好, 材料的回弹很小, 同时, 图像的边界不形成高低压痕。虽然 PC 材料的热传导率低, 但在光变图像的边界附近仍有热传递, 因此, 在转移复制过程中, 压印头在 PC 上的保压时间 t 的设定对上一次转移光变图像边界条纹槽型是有影响的, 即保压时间上限的设定应该不影响边界附近的其他光栅槽型。

5 实验结果与讨论

为了检测光变图像光栅条纹的转移复制质量, 采用两组金属镍全息衍射光栅作为转移复制的母版, 材料为聚碳酸酯薄片, 厚度为 0.5 mm, 厚度均匀性为 0.01 mm。光栅条纹转移复制后, 再通过电铸工艺, 将复制后的 PC 光栅制成金属光栅, 在红 (R), 绿 (G) 和蓝 (B) 三个激光波长下检测复制前的衍射效率 η_0 和复制后的光栅的衍射效率 η_1 。这里, R (632.8 nm), G (532.0 nm) 和 B (441.6 nm) 分别是 He-Ne 激光器、半导体抽运的激光器和 He-Cd 激光器发射的激光波长。定义光栅的衍射效率 η

$$\eta = I_1 / (I_0 + I_1) \quad (3)$$

式中, I_1 为金属光栅的一级衍射光光强, I_0 为金属光栅的零级光光强。转移效率 $\eta_t = \eta_1 / \eta_0$ 。从表 2 可以看出, 通过转移复制后的衍射效率不但没有降低, 反而提高了, 其实这一点不难解释。第一, 衍射效率 η 是 h/d , 入射光波长的函数^[8]。在检测波长确定的条件下, 只有合适的槽宽与槽深比的光栅才会有最高的衍射效率 η , 而不是槽型越深, η 越高。由于转移复制过程中, 材料仍然具有一定的回弹作用, 因此, 复制后的槽深比复制前的槽深略浅, 但是, 复制后的

槽深与槽宽之比, 正好落在合适的 h/d 范围内。第二, 在进行光刻胶光刻记录时, 激光干涉具有相干颗粒噪声, 同时, 在显影过程中也会带来颗粒噪声, 因此, 微观上, 光栅槽型上调制有极细的颗粒起伏, 这种起伏将引起部分光线的散射, 导致光栅衍射效率的下降, 通过压敏转移复制, 由于在复制过程中的材料热效应和材料的回弹作用, 槽型上的微细颗粒噪声被光滑化, 消除了颗粒噪声带来的光学散射, 最终复制光栅的衍射效率有大幅度的提高。

表 2 光栅转移复制的效率

Table 2 Efficiency of transferred grating

Space frequency		Grating 1	Grating 2
		1000 line/mm	2000 line/mm
Pre-copy η_0	R	33.7	35.8
	G	28.5	33.2
	B	25.4	27.1
After copy η_1	R	31.3	38.5
	G	35.8	35.1
	B	34.4	31.3

表 3 保压时间 t 与边界衍射效率的关系

Table 3 Relations of pressure and efficiency

t/s	0.1	0.5	1	5
Center η	31.1	31.8	30.2	30.8
Edge η	31.4	30.5	28.7	25.3

表 3 为采用 1000 lines/mm 光栅转移时的保压时间 t 与光栅中间和边界交界处 (1 mm 内) 的衍射效率 η (632.8 nm 下) 的关系 (注: 仅仅是实验中的一组参数, 不同槽深比的光栅的 η 会不同)。当 t 超过 5 s 时, 材料边界的热传导对前一次光栅条纹的转移产生了影响, 使得边界交接部分的光栅衍射效率下降。因此, 保压时间应小于 5 s。

采用上述系统和工艺, 能很方便地获得重复面积达到 1000 mm×1600 mm 的光变图像转移复制, 由于采用了金属母光栅, 转移复制过程中的前、中、后, 光变图像转移效率几乎没有变化。用电铸工艺, 在经过表面金属化处理后, 制成同样面积的光变图像金属原版, 作为激光无油墨印刷的母版, 这是目前国内面积最大的光变图像转移复制组版, 如图 5 所示。我们也对 100 μ m 左右的深槽条纹进行了转移复制, 对深槽条纹复制, 保压时间应适当增加。通过改变系统控制参数, 上述系统可以用于复制各种亚微米~100 μ m 范围内的条纹转移, 并且有良好的条

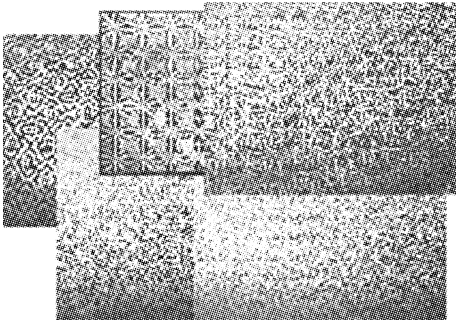


图 5 组版后的多种光变图像
Fig. 5 OVD recombined with system

纹转移品质。

以上提出的高效率光变图像光栅条纹快速转移复制系统和工艺,解决了超大幅面的光变图像的复制问题,同时,对其他类型的条纹转移复制也非常有效,是一种新型有效的表面列阵光学器件加工技术手段。

参 考 文 献

- 1 M. R. Chamberian. Elemental analysis of kinematic optically variable device [C]. *SPIE*, 1996, **2659**:170~180
- 2 C. C. Blough, R. I. Michaels, S. J. Ward. High-efficiency replicated diffraction optics [C]. *SPIE*, 1995, **2600**:50~55
- 3 Yu Meiwen. *Holographic Optics and Its Application* [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1996. 327~330
于美文. 光全息学及其应用[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1996. 327~330
- 4 Chen Linsen, Shen Yan, Jie Jianfeng *et al.*. The method of making digital 3D optically variable device and its system [P]. Chinese Patent, 2001, No. 01134159. 9
陈林森,沈 雁,解剑锋 等. 数码三维与光变图像的制作方法 & 激光照排系统[P]. 中国专利,2001, No. 01134159. 9
- 5 Shao Jie, Chen Linsen. Improved ways of making OVDs with interferential laser direct writing technique [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2003, **24**(6):626~628
邵 洁,陈林森. 干涉型激光直写制作光学可变图像的优化方法 [J]. 仪器仪表学报, 2003, **24**(6):626~628
- 6 M. Breidne, S. Johnsson, H. Ahlen. Blazed holographic gratings [J]. *Opt. Acta.*, 1979, **26**(11):1427~1441
- 7 Bernardo de A. Mello, Ivan F. da Costa, Carlos R. A. Lima *et al.*. Developed profile of holographically exposed photoresist gratings [J]. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(4):597~603
- 8 R. R. Shannon, J. C. Wyant. *Applied Optics and Optical Engineering* [M]. Academic Press, 1983. 33~71