

计算全息光栅扫描器的研制*

张中华 陈建新 铁艳霞 尚铁梁 王 骐

(哈尔滨工业大学航天电子与光电工程系 哈尔滨 150001)

提要 给出了反射式圆盘型计算全息光栅扫描器的位相方程、条纹位置方程及参数结构方程式, 利用新的加工工艺制作出能实现两行扫描(即二维扫描)的光栅, 给出由于加工工艺的改进和设计上的充分考虑而带来的明显实验效果及达到提高一级衍射能量和抑制零级衍射能量的目的, 从而得出计算全息光栅扫描器的多行快速直线扫描和复制时成本低的特点能够满足有这种需要的领域. 最后分析总结出研制实用型计算全息光栅扫描器的有效途径.

关键词 计算全息光栅扫描器, 加工工艺, 衍射效率

1 引 言

激光扫描在很多领域有广泛的应用, 如传真再现、文字资料阅读、显示、集成电路的图形发生和计算机的输出打印等. 当要求高速传递信息时, 激光束扫描速度必须很高, 因此激光扫描的技术需要不断地改进和提高. 对于激光扫描技术, 目前用得最多的是光机扫描、电镜扫描和多棱镜扫描. 但很多领域如人工雕花、激光打标、CO₂ 激光雷达等要求多行快速直线扫描技术. 由于各种原因, 上述三种扫描技术无法满足它们的扫描机构要求. 国外正在探讨声光器件, 电光器件加梯度晶体扫描及全息光栅扫描^[1, 2].

全息光栅扫描器具有许多其他类型扫描器不具备的独特优点, 而且以往的全息光栅是用光学干涉术产生的, 制作不方便, 灵活性差. 自从计算全息问世后, 由于计算全息图的灵活性及制作方便, 因此应用计算全息图作光栅扫描器有了很大的吸引力, 人们开始用计算机制作全息图. 由此获得的计算全息光栅扫描器不但具有全息光栅的优点, 而且还有其独特之处^[3]. 正因为如此, 人们在解决多行快速直线扫描技术时, 将目光投向它.

2 基本原理和参数设计

用作光栅扫描器的计算全息图的制作方法, 关键是确定位相变换函数. 圆盘型反射式位相型计算全息光栅扫描器的位相方程、条纹位置方程及参数结构方程式可以由圆筒型计算全息光栅扫描器的基本原理推导^[4].

* 可调谐(气体)激光技术国防科技重点实验室基金资助项目.

收稿日期: 1999-05-10; 收到修改稿日期: 1999-06-15

2.1 圆盘型扫描器的基本方程式

圆盘型扫描器中计算全息图的位相函数取极坐标形式, 其位相函数方程为

$$\varphi(R, \theta) = 2\pi R/d + \pi R_0^2 \theta^2 / \omega \cdot \Delta x$$

其中 $R_0 = \frac{1}{2}(R_{\text{outside}} + R_{\text{inside}})$ 为全息图的平均半径. 全息图的条纹位置方程: $R = nd - R_0^2 \theta^2 / 2\omega \cdot \Delta x$.

圆盘型扫描器中全息图的参数结构方程式:

(1) 参数 d 由公式 $d = \frac{L}{2\omega \cdot \Delta x} = Q \frac{1}{d} = \frac{N}{2\omega} = \frac{\Delta\theta_x}{2\lambda}$ 决定.

(2) 参数 Δx 由公式 $N = \frac{L}{\Delta x}$ 决定, 其中 $L = \pi R$.

(3) 参数 ω 由 x 方向的空间角度 $\Delta\theta_x$ 决定, 即: $\Delta\theta_x = 2\lambda v_{\text{max}} = \frac{\lambda \cdot L}{\omega \cdot \Delta x} = \frac{\lambda}{\omega} \cdot N$.

(4) 当 d 取不同值时, 扫描器将实现帧扫描, 当取两个 d 值 d_1, d_2 时, d_1 由 $d_1 = \frac{L}{2\omega \cdot \Delta x} = Q \frac{1}{d} = \frac{N}{2\omega} = \frac{\Delta\theta_x}{2\lambda}$ 决定, 而 d_2 由 $\Delta\theta_y = \left| \frac{\lambda}{d_1} - \frac{\lambda}{d_2} \right|$ 决定. 值得注意的是, 全息图的张角不能超过 2π , θ 角可在 π 和 $-\pi$ 之间取值.

2.2 参数设计

如图 1, 左半部分 $R_{\text{outside}} = 58500 \mu\text{m}$, $R_{\text{inside}} = 53500 \mu\text{m}$, $R_0 = 56000 \mu\text{m}$, $\omega = 3887 \mu\text{m}$, $\Delta x = 2749 \mu\text{m}$, $\theta \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} \right]$, $d = 120 \mu\text{m}$, $A = 60 \mu\text{m}$, $N \in (445, 850)$, 右半部分, $R_{\text{outside}} = 58500 \mu\text{m}$, $R_{\text{inside}} = 53500 \mu\text{m}$, $R_0 = 56000 \mu\text{m}$, $\omega = 3887 \mu\text{m}$, $\Delta x = 2749 \mu\text{m}$, $\theta \in \left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} \right]$, $d = 200 \mu\text{m}$, $A = 100 \mu\text{m}$, $N \in (267, 655)$, 为使左右两部分图形更清楚, 图 2(a), (b) 分别给出了放大后的左右两部分局部图形. 由此设计的圆盘型反射式计算全息光栅扫描器可以实现扫描角范围为 10° , 两行的角距离为 2° , 分辨率为 64 个点/行.

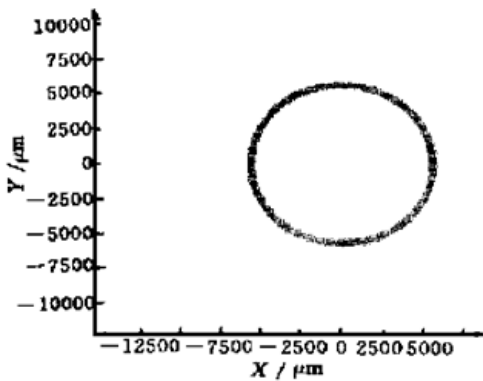


图 1 圆盘型计算全息光栅扫描器
Fig. 1 Disc configuration scanner

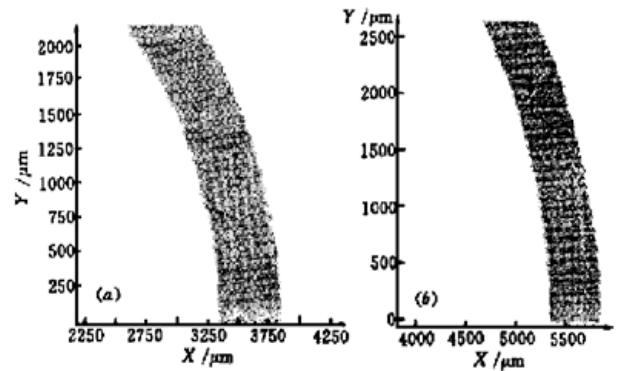


图 2 局部放大图形
Fig. 2 Part picture ((a) $d = 200 \mu\text{m}$; (b) $d = 120 \mu\text{m}$)

3 加工工艺

加工工艺分两步进行: 制版工艺和光刻工艺.

3.1 制版工艺

此光栅在制版过程中采用先进的计算机辅助制板技术,即在 CAD 系统中进行.又由于电子束扫描图形发生器是按图逐点进行的,即仅在需要曝光的位置上才发出电子束,不需要曝光的部分,可以直接越过去,效率极高,曝光后可以直接得到精缩版.因此在制作过程中采用电子束扫描图形发生器,有效地克服了自动刻图机的缺点,整个图形获得的曝光点为 186 M.

3.2 光刻工艺

为了克服传统工艺在硅片上制作反射型位相全息图时出现的缺点,采用下面的方法进行加工:(1)首先在抛光的单晶硅片上生成一薄层 SiO₂,起到对杂质的掩蔽作用及对器件表面的保护和钝化作用;(2)然后在 SiO₂ 上生成厚度为 2.65 μm 的铝层,而在制作适用于 CO₂ 激光扫描机构的光栅扫描器时,在 SiO₂ 上长 2.65 μm 厚的铝,克服了在 Si 上长 2.65 μm 的 SiO₂ 的缺点.因在 SiO₂ 上长铝,很容易做到,且深度 2.65 μm 控制准确;腐蚀铝时,腐蚀速度快,基本上可保证无侧向腐蚀;用磷酸腐蚀铝时,不会腐蚀 SiO₂,可保证条宽底部的平坦;(3)然后用湿化法进行蚀刻;(4)最后在此全息图表面上蒸镀铝(厚约 0.5 μm)来增大反射率.由此工艺制作的反射式位相型全息光栅扫描器在实验中收到明显效果.

4 实验结果

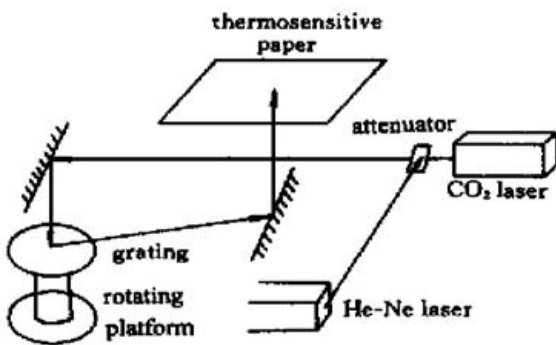


图 3 实验装置图

Fig. 3 Experiment setup

在设计中采取以下三方面的措施:(1)反射全息图上,从蚀刻槽内反射的光线和由全息图其他地方反射的光线宽度相等,从而抑制了零级衍射能量;(2)采取新的加工工艺,既保证了腐蚀面的平坦,又克服了侧向腐蚀的缺点,提高了工艺精度;(3)选择适当的 d 值,从而保证一级衍射与二级及其他高级衍射点分开.因此实验中收到明显效果.实验装置如图 3.

1) 当转台旋转一周后,可扫描出两直线,如图 4. 图中可以看出,在零级两侧各有两条直线,其线性度很好,靠近零级的直线,其参数 $d = 120 \mu\text{m}$, 远离零级的直线,其参数 $d = 200 \mu\text{m}$. 与文献[5]中确定衍射光线的方向和位置的理论与符合.图中的转台可以由电动或气动的马达

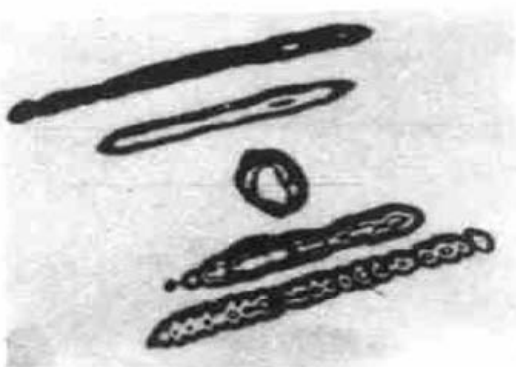


图 4 两行扫描轨迹

Fig. 4 Scanning locus of the first diffraction

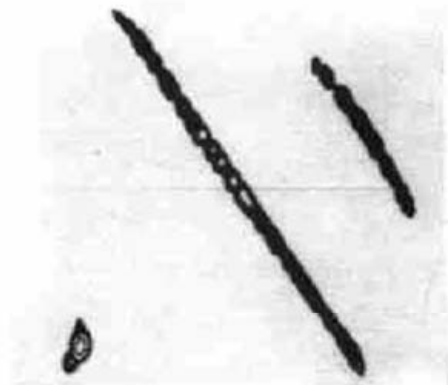


图 5 部分扫描轨迹

Fig. 5 Scanning locus partly

来驱动, 并且由于全息图的形状为圆盘型, 因此可以进行高速运动实现快速扫描. 计算全息光栅扫描器的扫描角度和全息图面数无关, 可以制作组合的全息光栅扫描器, 以覆盖更大的扫描角. 实验中设计的正是利用上述优点, 可以看作是两个全息光栅扫描器的组合, 由此可以推出, 计算全息光栅扫描器可以实现多行快速直线扫描.

2) 为了研究扫描轨迹上每一点衍射情况, 图 5 给出零级一侧的一级衍射扫描轨迹. 光栅到热敏纸的距离为 1420 mm, 图中是缩小 8 倍的图形. 实验中, 在光栅上取几点, 由于 CO₂ 激光器发出的光为不可见光, 无法准确确定位置, 但仍可测得最高衍射效率. 从 CO₂ 激光器出射光的功率为 21.6 W, 衰减片衰减后的功率为 4.5 W, 入射到硅片上的功率为 3.8 W, $d = 120 \mu\text{m}$ 时测得一级最高衍射功率为 1.05 W, 此时对应的零级功率为 0.87 W, 一级最高衍射功率为 27.6%, 相应的零级功率为 22.9%. 在实际应用中可将两个一级合并在一起应用, 以提高功率. 因此此时一级总功率可达 55.2%. 值得注意的是, d 值并非可以任意取值, 由理论知当 $d = (k + 1/2)\lambda$ 时, 一级衍射效率取最大值为 40.5%, 因此, d 值可根据加工精度的实际情况, 在衍射效率为最大值附近取值, 不但可以获得较高的衍射效率, 而且可以保证一级衍射和二级衍射及其他高级衍射分开.

3) 因为计算全息光栅扫描器对波长无限制, 为了更准确地研究光栅上每一点衍射图样, 在实验中, 用 He-Ne 激光器代替 CO₂ 激光器, 并用照相机拍摄衍射图样. 如图 6. 在 $d = 120 \mu\text{m}$ 的光栅图样上取 12 个点, 每点衍射图样中的中间亮斑为零级, 两侧分别为一级和二级衍射, 由于 He-Ne 激光的波长与 CO₂ 激光的波长相差 16.7 倍, 因此利用 He-Ne 激光器获得的衍射中, 一级衍射和二级衍射之间分开的距离不那么明显. 从亮斑的大小可以看出, 从第 4 个点到第 10 个点, 一级衍射斑比零级衍射大, 从而得出, 本实验已经做到抑制零级衍射功率和提高一级衍射功率的目的. 第 1, 2, 11, 12 点的衍射中零级功率低, 主要是由于光栅的像差及从蚀刻槽内反射的光线和由全息图其他地方反射的光线宽度不等造成的. 在以后的设计中, 可以调整位相变换函数来克服上述缺点.

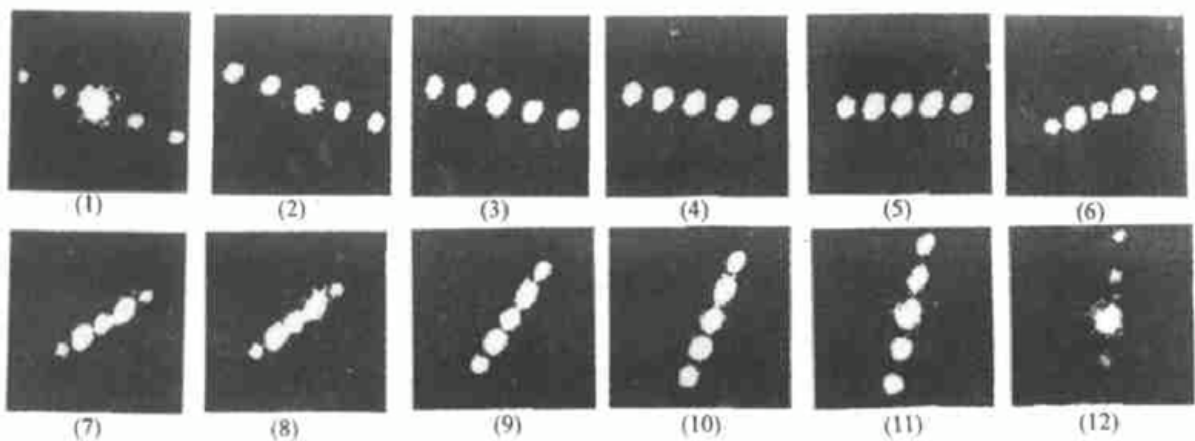


图 6 逐点扫描图形

Fig. 6 Scanning picture of each point

5 结 论

计算全息图用作激光扫描器是计算全息技术的又一很有应用前途的领域. 它克服了光学干涉术产生全息光栅的许多缺点, 完全可以发挥其实现多行快速直线扫描及复制时成本低的

优点,但计算全息光栅扫描器真正成为实用的光栅扫描器,尚存在许多自身的缺陷.如:用计算机制作全息图易出现多重像,零级斑点及一级衍射能量不均匀等.以后的研究应从以下三方面着手:(1) 由于相息图再现时出现单一像,因此可以考虑用多重掩模蚀刻工艺,制作反射式的相息图扫描器代替反射式的全息图扫描器,能有效地解决多重像和零级斑点问题.(2) 制作闪耀光栅,将能量集中在一级衍射方向^[6].(3) 由于电光器件和声光器件是真正的“固态”器件,不需要任何运动部件.因此可以考虑用声光器件、电光器件加梯度晶体扫描作为解决需要快速直线扫描的扫描技术.

参 考 文 献

- 1 R. C. Harney. Military applications of coherent infrared radar. *SPIE*, 1981, **300**: 2~ 11
- 2 Yang Guangyao, Cui lingchuang. CO₂ laser radar and its applications. *Optical Technique* (光学技术), 1994, **6**(6): 26~ 28 (in Chinese)
- 3 D. K. Campbell, D. W. Sweeney. Materials processing with CO₂ laser holographic scanner systems. *Appl. Opt.*, 1978, **17**(23): 3727~ 3737
- 4 Yu Zuliang, Jin Guofan. Computer-generated Hologram. Beijing: Qinghua College Press (in Chinese)
- 5 H. P. Herzig, R. Dandliker. Holographic optical scanning elements: analytical method for determining the phase function. *J. Opt. Soc. Am. A*, 1987, **4**(6): 1063~ 1070
- 6 Liu Xiaobing, Ruan Yu. Fourier analysis to diffraction efficiency of step-gratings. *Laser Technology*, 1998, **22**(5): 287~ 289 (in Chinese)

Study of Computer-generated Hologram Grating Scanner

Zhang Zhonghua Chen Jianxin Tie Yanxia Shang Tieliang Wang Qi

(Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract The equations of the reflective disk computer-generated grating scanner are presented. The grating scanner with a high diffraction efficiency was fabricated by a novel technique. The character of the grating scanner is discussed.

Key words computer-generated hologram grating scanner, fabricating technique, diffraction efficiency