

二元光学技术在激光成像雷达扫描器上的应用*

张中华 陈建新 王 骐 铁艳霞 尚铁良

(哈尔滨工业大学可调谐激光国家级重点实验室,哈尔滨,150001)

摘要: 激光扫描技术是在巡航导弹制导中应用的 CO₂ 激光成像雷达的关键技术之一。研制了圆盘型反射式位相计算全息光栅扫描器,扫描角度范围为 10°×2°,分辨率为 64 点/行,衍射效率为 27.6%。结合 CO₂ 激光成像雷达的特点及目前对二元光学技术理论和加工工艺的研究,提出:目前的二元光学技术,特别是多重掩模蚀刻工艺的发展,可使计算全息光栅扫描器成为解决 CO₂ 激光成像雷达扫描技术的有效途径。

关键词: CO₂ 激光 成像雷达 扫描技术 二元光学

The application of binary optical technique in the laser scanner of CO₂ laser imaging radar

Zhang Zhonghua, Chen Jianxin, Wang Qi, Tie Yanxia, Shang Tieliang

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

Abstract: Scanning technique of CO₂ laser imaging radar has become one of the key techniques used in cruise guide and control guide. This paper describes a disc, reflective, computer-generated hologram grating scanner with scanning range of 10°×2°, resolution of 64 pixels per line, diffractive efficiency of 27.6%. It is put forward that the computer-generated hologram grating scanner may become an efficient way to solve the scanning technique of CO₂ laser imaging radar with the development of binary optical techniques and the state-of-art of manufacture.

Key words: CO₂ laser imaging radar scanning technique binary optical technique

引 言

随着科学技术的蓬勃发展,被誉为理想的新一代光雷达的 CO₂ 激光成像雷达在军事上的应用日趋广泛。其中,CO₂ 激光成像雷达用于巡航导弹的导航和制导的思想,早在 70 年代末美国军方就已提出来,它是最能体现 CO₂ 激光雷达优越性能的应用领域^[1,2]。目前,人们认为 CO₂ 激光成像雷达的关键技术有 5 个方面:激光器性能的完善和提高,提高相干探测效率问题,自适应光学系统,激光扫描技术和信息处理技术。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 CO₂ 激光成像雷达要求小角度、高精度、高帧频成像技术,上述 3 种扫描技术,由于各种原因,无法满足 CO₂ 激光成像雷达扫描机构的要求。

全息光栅扫描器具有许多其它类型扫描器不具备的优点。以往全息光栅是用光学干涉术产生的,制作不方便,灵活性差。自从计算全息技术问世后,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具有很大的吸引力,人们开始利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,而且还具有其独特之处^[4]。

* 可调谐激光技术国家级重点实验室基金资助。

特别是进入 90 年代,二元光学技术的飞速发展,为解决 CO₂ 激光成像雷达的扫描技术提供了广阔的前景。

1 演示性实验

1.1 光栅的设计

我们设计的圆盘型反射式位相全息光栅扫描器,采取位相函数^[5], $(R, \theta) = 2 R_0^2 / d + R_0^2 \theta^2 / 2 \cdot x$, 其中, $R_0 = (R_{外} + R_{内}) / 2$ 为全息图的平均半径。全息图的条纹位置方程: $R = nd - R_0^2 \theta^2 / 2 \cdot x$ 。设计参数取定: $R_{外} = 58500\mu\text{m}$, $R_{内} = 53500\mu\text{m}$, $R_0 = 56000\mu\text{m}$, $x = 3887\mu\text{m}$, $\theta = 2749\mu\text{m}$, $d_1 = 120\mu\text{m}$, $d_2 = 200\mu\text{m}$ 。

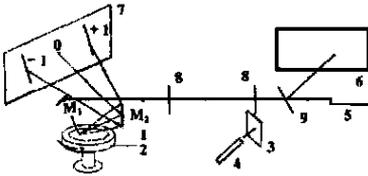


Fig. 1 Experiment setup

中:(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 2.65μm 的铝层;(3)再用湿化法进行蚀刻;(4)最后在全息图表面上蒸镀铝膜(厚约 0.5μm)来增大反射率。

1.3 实验结果

实验装置如图 1 所示。其

Table 1 Measurement value of scanning angle in y direction

unit (mm)	1	2	3	mean value
$l_1(OA)$	16.5	16.0	16.1	16.2
$l_2(OB)$	26.6	26.5	26.8	26.6
$l(A'B')$		10.4		
$L_1(OA)$	227.4	234.0	229.5	230.3
$L_2(OB)$	240.1	239.8	235.9	238.6
$\theta_y(\angle AOB)$		1.532°		

的相应数据及计算的结果。

从表 1~表 3 的数据得出:实验测得的扫描角度与设计的 10°×2 基本上符合,误差主要是由于 CO₂ 激光为不可见光,无法确定其准确位置,只能由 He-Ne 激光的位置来确定。

实验测得从 CO₂ 激光器出射光的能量为 21.6W,衰减片衰减后的能量为 4.5W,入射到硅片上的能量为 3.8W, $d = 120\mu\text{m}$,测得 +1 级衍射能量为 1.05W,衍射效率为 27.6%。

1.2 光栅的加工

按上面的设计参数进行加工,加工工艺分两步进行:制版工艺和光刻工艺。在制版过程中采用计算机辅助制版技术,即在 CAD 系统中进行。在制作过程中采用电子束曝光,整个图形获得的曝光点为 186M。在光刻过程



Fig. 2 Scanning line

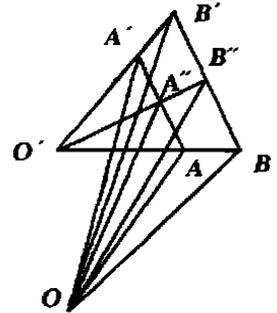


Fig. 3 Sketch map of measuring scanning angle

中,1 为计算全息光栅,2 为转台,3 为挡板,4 为 He-Ne 激光器,5 为 CO₂ 激光器,6 为耐火屏,7 为屏幕,8 为光阑,9 为衰减片。

当转台旋转一周时可扫描出两条直线,如图 2 所示。计算全息光栅扫描器的扫描角度的测量如图 3 所示, O 点是激光束照射在全息图的位置, O' 点是零级衍射点的位置,直线 AA' 是第 1 条扫描直线,直线 BB' 是第 2 条扫描直线。表 1~表 3 分别是实验测得

Table 2 Measurement value of scanning angle
in x direction ($d = 120\mu\text{m}$)

unit (mm)	1	2	3	mean value
$l_3(AA)$	49.5	48.1	52.0	49.9
$L_3(OA)$	275.6	283.3	280.3	279.7
$\alpha_x(<AOA)$	10.235°			

Table 3 Measurement value of scanning angle
of x direction ($d = 200\mu\text{m}$)

unit (mm)	1	2	3	mean value
$l_4(BB)$	70.0	68.8	66.5	68.4
$L_4(OB)$	385.9	415.8	421.2	407.6
$\alpha_x(<BOB)$	9.626°			

2 二元光学技术在 CO₂ 激光雷达全息光栅扫描器中的应用前景

(1) 实验装置图中的转台可以由电动或气动马达来驱动,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。实验中的设计正是利用了上述优点,1个扫描器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) 要想获得更高的衍射效率,必须制作台阶光栅,可以从理论上得到^[6,7]。根据衍射效率的公式,可以计算出当 $N = 2, 4, 8, 16, 32$ 时,二元位相光栅不同衍射级的效率如表4所示。

Table 4 The dependence of diffraction efficiency on different diffraction orders

K	-15	-14	-13	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
$N = 2$	0.18	0	0.24	0	0.33	0	0.5	0	0.83	0	1.62	0	4.5	0	40.53	0
$N = 4$	0.36	0	0	0	0.67	0	0	0	1.65	0	0	0	9.0	0	0	0
$N = 8$	0.24	0	0	0	0	0	0	0	1.94	0	0	0	0	0	0	0
$N = 16$	0.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$N = 32$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
$N = 2$	0.18	0	0.24	0	0.33	0	0.5	0	0.83	0	1.62	0	4.5	0	40.53	0
$N = 4$	0	0	0.45	0	0	0	1.0	0	0	0	3.24	0	0	0	81.05	0
$N = 8$	0	0	0	0	0	0	1.17	0	0	0	0	0	0	0	94.96	0
$N = 16$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98.72	0
$N = 32$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.7	0

由上表可知,当 $N = 32$ 时,台阶光栅的衍射效率就已达 99.7%。这么高的衍射效率足以满足 CO₂ 激光成像雷达的扫描技术。

(3) 二元衍射光学的研究始于 70 年代末,目前微加工技术已经达到了很高的精度^[8],水平尺寸可精确到 $0.01\mu\text{m}$,浮雕深度可精确到 $0.005\mu\text{m}$ 。若制作 32 台阶的适用于 CO₂ 激光成像雷达的计算全息光栅扫描器,需蚀刻的台阶高度分别为 $5.30\mu\text{m}$, $2.65\mu\text{m}$, $1.325\mu\text{m}$, $0.663\mu\text{m}$, $0.331\mu\text{m}$ 。根据目前的工艺技术,国内亦可制作。

(4) 用计算全息技术来制作 CO₂ 激光扫描器有如下优点^[9]: (1) 记录介质不必对波长 CO₂ 的激光束灵敏,而若用光学全息法时,记录介质必须对此红外波长敏感,而这种介质很难找到; (2) 计算全息扫描器的扫描速度和扫描方向可以做成任意的,这为激光加工提供了方便; (3) 由于 CO₂ 激光能量高,必须采用吸收小的反射型激光扫描器,且记录介质不能是胶片,常常是用

核阀零件激光熔覆 Co 基涂层的组织研究

张春良

(中南工学院机械工程系,衡阳,421001)

摘要: 应用 5kW 横流 CO₂ 激光器对核阀阀瓣密封面进行 Co 基合金的激光熔覆处理,用金相显微镜、扫描电镜、能谱分析仪等分析手段对涂层的组织、晶粒度、显微硬度和稀释率进行了分析。结果表明:激光熔覆层的显微组织、晶粒度、熔层稀释率、热影响区宽度、显微硬度等均显著优于等离子喷焊和堆焊工艺。

关键词: 激光熔覆 核阀 密封面 等离子喷焊 显微组织

Study on microstructure of laser cladding Co-base alloy on nuclear valve parts

Zhang Chunliang

(Department of Mechanical Engineering, Central-South Institute of Technology, Hengyang, 421001)

Abstract: Laser cladding of Co-base alloy on the nuclear valve-sealing surface has been performed with a 5kW CO₂ flow transverse laser. Optical microscope, SEM, and EDAX have been used to analyze the microstructure, the grain size, the micro-hardness, and the dilution rate. The results show that the microstructure, the grain size, the dilution rate, the width of heat-effect area, and the micro-hardness of the laser cladding coating are much better than those of the spurt welding and the bead welding processing.

Key words: laser cladding nuclear valve sealing surface plasma spurt welding microstructure

硅单晶片蚀刻而成,而二元计算全息图的二元透过性质可很容易地把它转变成反射型位相全息图。

从以上几种原因可以得出:制作适用于 CO₂ 激光成像雷达的 32 台阶的反射式计算全息光栅扫描将成为可能。

参 考 文 献

- 1 Harney R C. SPIE, 1981; 300:2
- 2 蔡善明, 计世藩. 红外与激光技术, 1991; (2): 13
- 3 杨光耀, 崔凌闯. 光学技术, 1994; (6): 26
- 4 Campbell D K, Sweeney D W. Appl Opt, 1978; 17(23): 3727 ~ 3737
- 5 Bryngdahl O, Lee W H. Appl Opt, 1976; 15(1): 183 ~ 194
- 6 周 进, 韩良恺, 高文琦 *et al.* 中国激光, 1996; 23(5): 449 ~ 452
- 7 Hasman E, Davidson N, Friesens A A. Opt Lett, 1991; 16(6): 423 ~ 425
- 8 沐应旺, 周 进, 刘建宏 *et al.* 光学学报, 1998; 18(12): 1716 ~ 1750
- 9 虞祖良, 金国藩. 计算机全息图. 北京: 清华大学出版社, 1984

作者简介: 张中华, 男, 1955 年 4 月出生。教授。现从事激光成像雷达及扫描器的研究工作。