

高分辨率成像二元光学系统的研制与实验结果*

崔庆丰 高士平** 匡裕光

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

(* 中国科学院微电子中心, 北京 100010)

摘要 已研制成功一个折衍射混合式成像二元光学系统, 焦距 800 mm, 有效通光口径 76 mm, 成像光谱范围从 435.8 nm 到 656.3 nm。成像质量实测结果为 20 lp/mm 时 MTF 值达到 0.75, 比同样条件下一个传统的折射式系统 MTF 所能达到的设计值高百分之三十以上。

关键词: 二元光学; 衍射光学; 光学系统

1 引言

衍射二元光学是近十年来迅速发展并受到各国相关专业的科学家与工程技术人员广泛重视的一门新兴光学技术^[1]。将衍射二元光学的理论和技术应用于成像光学系统能够使一些在传统方法范围内无法解决的问题得以解决, 可以大幅度提高成像光学系统的分辨率, 减轻重量和降低成本, 在国防和商业应用上都具有不可估量的前景。虽然成像二元光学系统的研究在我国已开展多年, 但尚未见有研制应用的报道。1996年本文作者研制成功一个用于实验目的的长焦距高分辨率成像二元光学系统。其中的二元光学元件是在中国科学院微电子中心协作完成的。本文报道这个二元光学系统的设计思想、工艺过程与实验结果。

2 光学系统的结构与设计思想

光学系统的结构如图 1 所示。它由一片负透镜一片正透镜和一个二元光学元件构成。正透镜的后一个工作面是平面, 二元光学元件以这个平面为基底。两片透镜使用最普通的光学材料

制成,负透镜材料为F2,正透镜材料为K9。这种两片透镜分离的结构能够同时满足消球差、彗差和二级光谱色差的要求^[2],可以用普通光学材料实现复消色差。此外,负透镜在前的结构还具有色球差小的优点^[2],具有工程实用价值。

目前,在中国科学院微电子中心利用现有条件制作二元光学元件能够制作的最大口径为76 mm,因此,决定光学系统的口径取为这个数值。系统的焦距取为800 mm。工作波段为435.8 nm到656.3 nm,中心波长为546.1 nm。

根据文献[2]给出的公式在满足上述消像差要求的条件下解出系统的结构参数再稍加平衡即可得到最后的结构参数。将二元光学元件的位相离散化即可得到二元光学元件掩模版的参数。将这里的二元光学元件制成八级位相元件,它需要使用三块掩模版制成。第三块掩模版的最细线宽100 μm 左右。

3 二元光学元件的制作

二元光学元件是在中国科学院微电中心利用大规模集成电路制造设备,在非标准加工条件下制作完成的。为了适应现有制作条件的要求,二元光学元件以一片独立的K9玻璃平板为基底,这相当于从正透镜基底上切下一片平板玻璃作为基底。

制作工艺基本过程与文献[3]中所述相同。

4 实验结果

为了综合评价所研制的二元光学系统的成像质量,对它做了轴上点调制传递函数(MTF)测量和照相测量。

4.1 调制传递函数测量

测量是在中科院长春光机所国家光学机械质量监督检测中心进行的,所使用的仪器是EROS IV光学传递函数测定仪,用白光光源。该仪器中的平行光管焦距为1000 mm,口径为100 mm。由于平行光管焦距较小,测量频率最高取为每毫米20对线,测量结果列如表1。其中子午和弧矢方向MTF值的差别是由于基底制造误差造成的,对此预先已有估计。

Table 1 Measured MTF results

		lp/mm	10	20
MTF	meridian direction		0.86	0.80
	sagittal direction		0.82	0.70
	average		0.84	0.75

出于比较的目的,精心设计了一个传统的折射式双胶合物镜,它的焦距口径工作波段与二元光学系统完全相同,结构复杂程度和正负透镜所使用的光学材料与二元光学系统也相同。限制这种折射系统成像质量的关键问题是二级光谱色差。在使用普通光学材料情况下,二级光谱

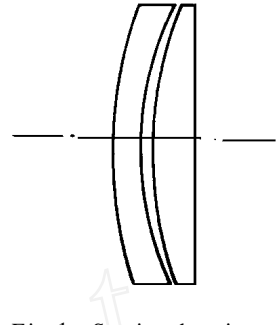


Fig. 1 Section drawing of the designed and fabricated binary optical system with binary optical element placed on the plane

是无法消除的,要消除它只有使用特殊光学材料或使系统复杂化^[4]。对这个折射式系统计算了 MTF。在每毫米 20 对线的频率下,它的轴上点 MTF 值按正弦波目标计算只能达到 0.54。按方波目标计算为 0.56,同样条件下,二元光学系统的实测 MTF 值比传统折射式系统所能达到的设计值高 34%。

4.2 照相测量

在光具座上对所研制的二元光学系统做了照相测量。折射式平行光管的焦距为 1647 mm,口径 110 mm,在平行光管焦面上放置 3 号分辨率板。以白光为光源,使用国产珠江单反相机的机身,所研制的二元光学系统作为照相物镜,与平行光管相对放置。使用市售普通柯达彩色胶卷照相。按不同的象面位置和不同的曝光量多次拍照,然后冲洗得到照相底片,在显微镜下观察这些底片,选出最清晰的一张,它所能分辨的分辨率板线条组数是第 13 组,代表了在这种条件下的照相分辨。分辨率板上该组线条对应的分辨率是每毫米 25 对线,折算到底片上的分辨率是每毫米 51 对线。为了便于观察,将这张底片通过显微摄影局部翻拍一次,再冲印成照片,如图 2 所示。

Fig. 2 The resolution photograph for the binary optical system obtained with common color films, which denotes that the photograph resolution power is over 50 lp/mm

5 结 论

利用国内现有条件研制了一个长焦距成像二元光学系统,在使用白光光源条件下获得了相当高的成像质量。实测结果表明,所研制的长焦距二元光学系统以极简单的结构和最普通的光学材料获得了比同样条件下传统折射式系统高得多的成像质量。值得注意的是,这个系统仅是一个实验性原型样机,制作工艺尚不很成熟。显然,这个二元光学系统的成像质量还有进一步提高的余地。但就目前所能达到的成像质量而言,该系统已足可以作为一个实用的远距离成像物镜和优良的平行光管物镜。

本项工作是在王大珩先生指导和支持下完成的,作者向他致以深深的谢意。

作者衷心感谢中国科学院微电子中心高级工程师李友,顾焕章和朱亚江在二元光学元件制作过程中所给予的帮助,感谢中国科学院长春光机所王肇勋研究员,吴长发工程师,李静高级工程师,钟为民等在二元光学系统测试中给予的帮助。

参 考 文 献

- [1] Veldkamp W B, McHugh T J, Binary Optics Scientific American, 1992, 266(11): 50~ 56
- [2] 崔庆丰,匡裕光 混合复消色差透镜组的设计原理 光学学报, 1995, 15(4): 499~ 503
- [3] Swanson G J. Binary Optics Technology: The Theory and Design of Multi-level Diffractive Optical Elements MIT Lincoln Laboratory, 1989
- [4] 王之江 光学设计理论基础 北京: 科学出版社, 1985: 138~ 157

Design, Fabrication and Experiment of a Hybrid Diffractive-refractive Binary Optical System

Cui Qingfeng, Gao Shiping^{*}, Kuang Yuguang

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,

Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

(*Microelectronics R & D Center, Academia Sinica, Beijing 100010)

Abstract

A hybrid diffractive-refractive binary optical system has been successfully designed and fabricated in Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica by the authors of this paper. The focal length of the system is 800 mm, the effective aperture 76 mm and the imaging spectrum range from 435.8 nm to 656.3 nm. The measured axial MTF value of the system is 0.75 at the frequency 20 lp/mm, which offers significant improvement over that of a conventional system finely designed at the comparable conditions.

Keywords: Binary optics, Diffractive optics, Optical system.

崔庆丰 男, 1954年10月生。1982年1月毕业于北京理工大学工程光学系, 学士学位, 1996年毕业于长春光机所, 博士学位, 1996年任研究员, 长期从事成像光学系统的研究、设计与开发工作。