

衍射光学元件制作技术及未来展望

任延同 付永启

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 回顾了衍射光学元件(DOE)制作技术的发展过程,介绍了未来制作技术的发展以及元件演变的未来趋势。

关键词: 衍射光学元件; 二元光学元件; 制造工艺

1 引言

衍射光学元件是利用光波的衍射原理对光波传播方向进行偏折的光学元件,它具有体积小、重量轻、便于大量复制等优点。它最早来源于计算机全息图(CGH)的产生和制作^[1]。早期的CGH是一种振幅型的二维图案,光的衍射效率很低($< 10\%$),无法在很多实际场合中使用。但是,随后人们发现若振幅型转换为位相型CGH,其衍射率可以大幅度提高。但由于制作困难,该设想一直无法实现。大规模集成电路制作技术(VLSI)的出现和发展,为位相型CGH的发展带来了希望。美国麻省理工学院林肯实验室的研究人员首先于七十年代末制作出具有两个台阶结构的位相型CGH,由于实际制作出的位相轮廓,是以2为量化倍数,对理想的连续位相轮廓的台阶形状近似,故被称为“二元光学元件”(Binary optical element),简称BOE。对于连续表面三维浮雕结构的DOE,其横向尺寸自几微米至几百微米甚至更大,高度的变化(厚度)在微米数量级。制造这样高精细大面积的三维浮雕衍射结构是对制造技术的重大挑战。为了制造上的简便,人们将连续面型离散化,起初利用光刻技术只能作出两个台阶的BOE,但其衍射效率只有40%,随后又采用多层套刻技术实现了多台阶BOE,即利用多台阶逼近连续的位相结构,衍射效率可达99%(16台阶)。目前,美国利用激光直写技术已制作出连续位相结构的DOE^[3]。现在DOE制作已发展了多种技术,例如,激光束辅助加工技术^[4-6],激光化学沉积技术^[7],光致高分子材料折变技术^[8]以及模压成型技术^[9]等等。在众多的制作技术中,以基于VLSI技术为主的制造技术最为成熟,也是研制技术的主流。

2 衍射光学元件制造的 VLSI 工艺

衍射光学元件制作工艺的发展到目前为止,经历了以下三个阶段:

(1) 二值化BOE 制作

二值化BOE 最容易制作,它是通过掩模板曝光后,形成亮暗交替的二值化图案,再经薄膜沉积(向上长)或离子刻蚀(向下落)将图案转移到玻璃基片上(见图 1),曝光可采用紫外光刻、激光光刻等方法。此方法的特点是:制作简单、成本低,衍射效率低(只有 40%)。

2) 多台阶BOE 制作^[3]

由于二值BOE 衍射效率低,难以满足使用要求,故人们设想能否用更多的台阶象电信号处理的采样过程那样去逼近连续的DOE 面型,在此设计思想引导下诞生出多层套刻技术。该方法实质上是反复利用二值BOE 制作步骤,使二值台阶继续向上(镀膜法)或向下(离子刻蚀)生长,从而形成多台阶位相结构的BOE,如图 2 所示。

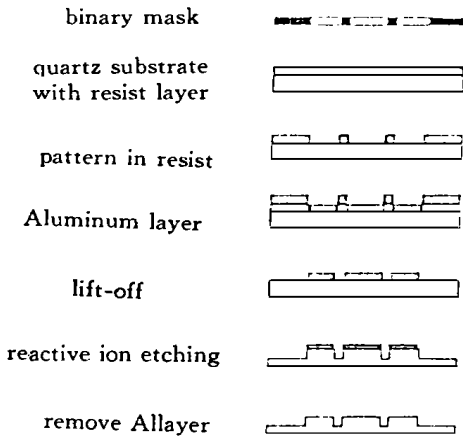


Fig 1 Two-value BOE fabrication chart

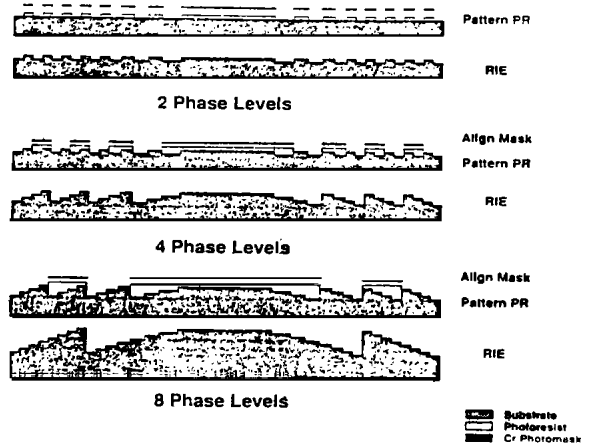


Fig 2 Process for fabricating multi-level BOE

3) 连续成型DOE 制作

采用套刻法制作多台阶BOE 虽然提高了衍射效率,但却是以高成本、长制作周期为代价,制作精度受套刻精度的影响,当套刻次数很多(大于 4 次)时精度很难保证。因而人们又研制出了直接写入技术,它彻底避开了传统的掩模曝光法^[12],直接将设计的三维连续浮雕图案写入光刻胶上,无需再使用掩模板。既缩短了制作周期,又提高了制作精度及衍射效率(见图 3)。写入的方法有两种:一是电子束曝光;二是激光束曝光。前者适合于制造微型化阵列器件,总尺寸在 10 mm 以内是较为适中的,再大则器件的性能价格比太高。后者适合于

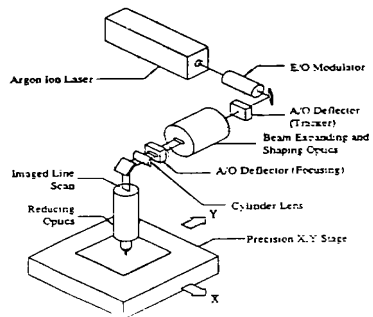


Fig 3 Diagram of direct writing apparatus

大口径 DOE 制造, 和大多数常规光学系统的宏观尺寸相匹配, 其性能价格比适中, 符合工业化制作要求。

3 衍射光学元件制作新工艺

无胶光刻法为九十年代初推出的新型 DOE 制作工艺, 它主要用于大直径 (6 inches~ 2 metres) 的特大口径 DOE 制作。如图 4 所示, 它摒弃了传统的光刻胶曝光法, 直接用高能激光束照射预先镀在基片上的金属铬层使其发生氧化反应, 控制氧化层与铬层的腐蚀速度, 则经腐蚀后光照部分被氧化层覆盖而保留下来, 其余部分被腐蚀后露出基底。该项技术制作精度可达 $\lambda/100$ ^[10], 但其不足之处是不能制作要求全透射的 DOE 元件。

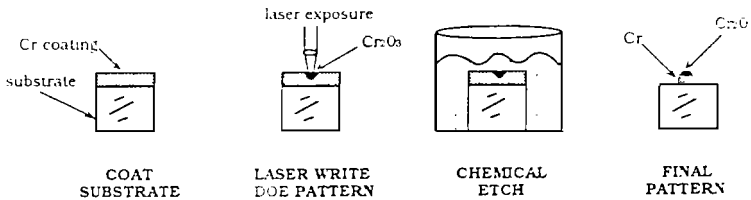


Fig. 4 Non-photolithographic fabrication of DOE

4 衍射光学元件的复制技术

复制技术是解决 DOE 工厂批量化生产的关键技术。目前基于 LIGA 制造技术萌生出两种复制方法: 电铸法及压铸法^[15]前者主要用于具有金属微图形结构的部件复制。后者又可分为模压、注塑、热塑三种工艺。制作过程为: 首先用电铸技术作出塑铸需要的注塑模具, 具体做法是: 利用光刻胶下面的金属层作电极电镀, 将光刻胶形成的间隙用金属填充, 直到电镀的金属将光刻胶完全覆盖住, 并具有一定的厚度和强度。这样就形成了一个与光刻胶图形凹凸互补的稳定金属凹凸版图, 然后将光刻胶及附着基底等材料除掉, 就得到了塑铸所用的金属模具。此时可进行塑铸, 通过金属注塑板上的小孔将树脂注入到模具的腔体内 (模具内的微型腔体与较大的腔体相连通)。等树脂硬化后, 去掉模具就可以得到一塑料微型结构 (硬化的树脂被微型小孔固定在金属注塑板上)。在塑铸完成的微型结构上, 电铸所需要的产品结构, 再去掉胶的注塑板, 这样一个有几百微米厚、三维立体结构的器件就完成了。

5 DOE 未来发展趋势

衍射光学元件制作技术作为九十年代的光学元件技术, 在研究层次上将不断深入; 从仅能制造和常规光学系统相匹配的衍射光学元件制作技术到目前的集成阵列技术, 以至到将来的光、机、电集成一体化技术和集智能、接收处理、执行的智能微型化系统; 其应用范围不断拓宽,

从目前红外成像系统的应用延伸到近红外、可见光波段和各种实际应用,甚至开拓常规光学系统无法实现的新功能。在不久的将来,总会有这样的一天,衍射光学镜片的设计师们能象今天电路设计师坐在计算机终端面前操纵各种电子积木式装置来进行电路设计一样,坐在计算机终端面前,在按动鼠标和敲击键盘的“咔咔”声中设计拼合出各种光电系统。

6 结 束 语

随着微细加工技术的不断发展,衍射光学元件的设计及制作技术也在日新月异地变化着,从前面的介绍可以看出,集光机电一体化的智能型DOE是未来发展的必然趋势,它必将取代现有的光机电分离元件而独占鳌头。因此,DOE制作技术是一种很有发展前景的制造工艺技术。

参 考 文 献

- [1] Wood W. Physics Optics New York:Macmillan, 1974, 37~ 38
- [2] Miyamoto K. The Phase Fresnel lens J Opt Soc Am, 1961, **51**(1): 17~ 30
- [3] Shione T. Diffraction Limited Blazed Reflection Microlenses for Oblique Incidence Fabricating by E-beam Lithography. Proc SPIE, 1992, **1752**: 214
- [4] Veiko V. P. Laser Fabrication of Moebased on Soft Laser Heating Proc SPIE 1993, **1992**: 159
- [5] Veiko V. P. Laser Technologies for Miniature Optical Elements: Approachs and Solutions Proc SPIE, 1993, **1992**: 124
- [6] Kalyashova ZN. Manufacture of Diffractive Structures in Metal and Semiconductor Thin Film by Pulse laser irradiation. Proc SPIE, 1994, **2045**: 338
- [7] Jeroninek H. Laser-assisted deposition and Etching of Silicon for Fabrication of Refractive and Diffractive Optical Elements Proc SPIE, 1994, **2045**: 194
- [8] Phillips N J. Micro-optics Studies Using Photopolymers Proc SPIE, 1990, **1544**: 10
- [9] Nogues J R. Fabrication of Pure Silica Micro-optics by Sol-gel Proc SPIE, 1992, **1751**: 214
- [10] Vernold C L. Non-photolithographic Fabrication of Large Computer-generated Diffractive Optical Element Proc SPIE, 1994, **1751**: 214
- [11] Edward Motamidi M. Micro-opto-electromechanical Systems Opt Eng, 1994, **33**(11): 3505
- [12] Charles Baber S. Application of High Resolution Laser Optics Proc SPIE, 1989, **1053**: 66
- [13] Margit Ferstle AR-coated Arrays of Binary Lenses for Interconnection Networks at 1.5 μm . Proc SPIE, 1993, **1992**: 90
- [14] Jay T R. Preshaping Photoresist for Refractive Microlens Fabrication. Proc SPIE, 1993, **1992**: 127
- [15] 伊福廷等. 微细加工新技术-LIGA 技术. 微细加工技术, 1993, (4): 1~ 5

Fabrication Technology & Future Development for Diffractive Optical Elements

Ren Yantong, Fu Yongqi

*(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)*

Abstract

Development process of fabrication technology for diffractive optical elements (DOE) is recalled in this paper. The fabrication technology and its designing tendency in the future are introduced.

Key words: Diffractive optical elements (DOE), Binary optical elements (BOE), Fabrication technology

任延同 男, 1941年6月生。1966年毕业于黑龙江大学物理系, 1968年后于长春光机所一直从事半导体光电器件及硅靶视像管和硅增强靶视像管等研制工作, 1987年后从事情报研究及情报跟踪服务, 1993年后从事期刊编辑工作。