

·成果简介·

几种二元光学器件的设计与研制

严瑛白 邬敏贤 金国藩 毛文炜 包红春

(清华大学,精密测试技术及仪器国家重点实验室,北京 100084)

[关键词] 二元光学, Dammann 光栅, Fresnel 波带透镜, Talbot 光栅, 无衍射光束, 消像散器件

二元光学被誉为“90年代的 optics”。它是基于光波的衍射理论,利用计算机辅助设计以及超大规模集成电路制作工艺,在基片(或传统光学器件表面)上刻蚀产生具有多个微小台阶深度的浮雕结构,形成纯位相、同轴再现并具有极高衍射效率的一类衍射光学器件。它以多相位相结构近似相息图的连续浮雕结构。这种平面浮雕结构的二元光学器件具有重量轻、易复制、造价低等特点,而且在实现微小、阵列、集成以及任意波面变换等功能方面独具优势,从而使光学工程与技术在空间技术、激光加工、计算技术与信息处理、光纤通信及生物医学等众多领域中显示出重要作用及广阔的应用前景。以下简介我们所研究的几种有代表性的二元光学器件。

1 几种二元光学阵列发生器^[1]

在光纤通信、光计算、光盘存储及图象处理等许多领域中,越来越多地要求能将一输入信息(图象或数据)变换成多个输出信息,从而实现多重成像、多通道读写及任意三维互连等功能,以充分体现光学并行高速的特点。在设计制作这类器件方面,二元光学尤其显示出传统光学无法比拟的优势。

1.1 Dammann 光栅及其变异型位相光栅

由 Dammann 首先提出并设计的具有特殊孔径函数的二值位相光栅,克服了普通振幅光栅因单孔衍射产生 sinc 函数强度包络所引起的谱面光强分布不均的缺点,为产生等光强阵列光斑开创了一条崭新的思路。Dammann 光栅结构如图1(a)所示,各突变点坐标(a_l, b_l)及位相值 θ 完全决定了傅立叶频谱的光强分布。为使各级光强相等,且总衍射效率最高,合理设计各突变点坐标是设计这类光栅的核心。

当需要产生更大的光斑点阵(大分束比)、更高的衍射效率及更好的光斑均匀性时,采用图1(a)中的空间坐标调制或编码的二值位相光栅已无法满足要求。因此,相继提出并设计了各种变异型位相光栅,即位相调制型和复合调制型(空间坐标与位相同时被调制)。利用误差递减、梯度搜索、模拟退火及输入-输出等优化算法或几种算法的组合,可以设计出更高性能的位相光栅阵列发生器。我们设计并研制了 5×5 , 11×11 , 25×25 , 33×33 等多

本文于 1997 年 9 月 8 日收到。

种阵列发生器^[2]。此类器件的最大优点是光斑光强均匀性不受入射光波不均匀性影响,可产生任意阵列的点阵。因此,适用面广,是目前首选的分束器之一。例如,用于多普勒风速仪时可克服由于光源不稳定性引起的干涉条纹位置和周期漂移;也可用于多头激光划片机中生成百上千路光刀。

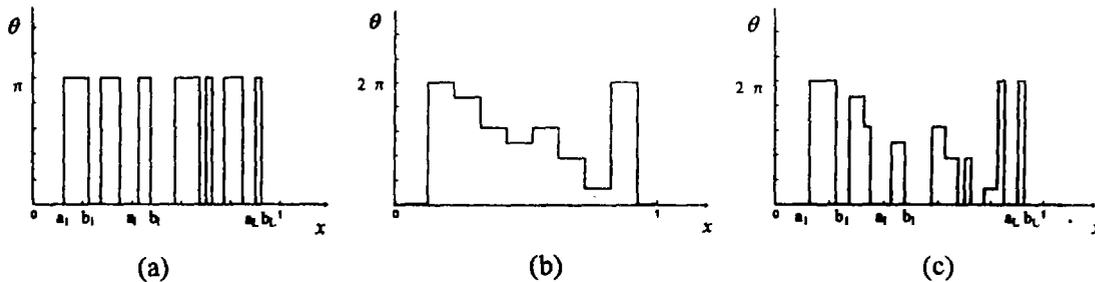


图1 三种不同调制的位相光栅

1.2 Fresnel 波带透镜及其阵列

Dammann 光栅受到设计方法及加工工艺的限制,其衍射效率目前尚难以超过 80%。基于光波 Fresnel 衍射的波带透镜及其阵列,在提高衍射效率上具有优势,特别是对产生大分束比的情形。

将传统的 Fresnel 振幅型波带片(FZP)演变成具有多阶位相分布的浮雕表面结构,则形成一种新型高效率的二元光学波带透镜,它可使衍射光能量尽量集中到一个焦点(如 $n = -1$)处。衍射效率表示为 $\eta = I_{-1} = \text{sinc}^2(1/L)$ 。可见,只要增加位相阶数 L , η 将随之增加。计算表明,当 $L = 2, 4, 8, \dots$ 时, η 分别为 40.5%, 81% 及 95%, \dots 。基于这一理论,设计并制作了 8 阶位相的波带透镜及其阵列^[3]。阵列数为 50×50 , 各子透镜口径 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$, 器件焦距为 20mm, 实测 η 大于 90%。Fresnel 波带透镜阵列为多光束发生、多重成像、光互连及灵巧扫描器等提供了一种轻便、小型且高度集成的全新器件。

1.3 Talbot 光栅阵列发生器

基于周期物体的 Talbot 及分数 Talbot 效应,开创了一类新型二元光学阵列器件,即 Talbot 光栅阵列发生器。与 Dammann 光栅不同,它属于 Fresnel 衍射型。其基本思想是,设计一个有特定 2 阶或多阶位相分布的位相光栅,在单色平面波照明下,使某些特定位置上的 Fresnel 像变成一个有亮暗相间的振幅光栅。对二维光栅来说,则形成二维光斑点阵。由近场衍射理论推导并总结出可以设计任意位相阶次的、具有很高衍射效率的 Talbot 光栅阵列发生器的公式组。

我们设计并研制出一个二维 9 阶位相的 Talbot 光栅,光栅一个周期内的不同位相分布所形成的浮雕表面结构如图 2 所示。设计加工了四块掩模板并经过三次对版套刻,刻蚀深度分别为 $\pi/6, 2\pi/6, 4\pi/6$ 及 $8\pi/6$ 。由该光栅产生的亮斑大小与周期之比是 $1/6$, 表明原位相光栅一个周期内的全部光能(忽略孔径受限)集中到 $1/6$ (一维)或 $1/36$ (二维)的光斑内,可见其效率很高,明显优于 Dammann 光栅。

2 两种特殊功能的二元光学器件

2.1 无衍射光束发生器

此类器件的作用是将入射光束变换成中心光斑尺寸不随传播距离的增加而扩大的“无扩散”或“无衍射”光束。基于光波衍射理论,设计了具有非球面形、但易于加工制造的二元光学无衍射光束发生器。该器件可在0.5—15 m的传播距离内产生的中心光斑尺寸基本不变(图3),为一种超长焦深器件,这是传统光学极难实现的功能。它可为精密测量,如许多大型乃至巨型的发电机组的对中与安装提供一条准确的长距离光学基准线。

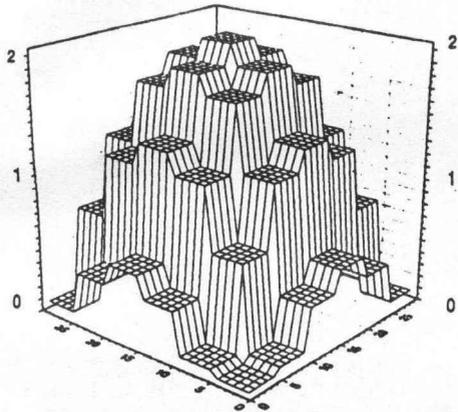


图2 二维9阶Talbot光栅一个周期内的位相分布

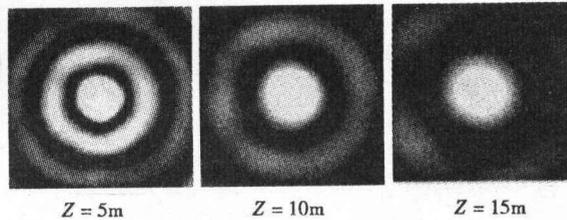


图3 不同距离处的实测光斑

2.2 为半导体激光器研制的二元光学消像散准直器件

半导体激光器具有体积小、价格低、使用方便等特点,在光纤通信、光存储、激光加工及精密测量等方面有推广应用价值,但其输出发散像光束在平行及垂直方向的发散角分别在 $\theta_x = 10^\circ - 30^\circ$, $\theta_y = 30^\circ - 60^\circ$ 范围,必须校正为准直光。令 f_x, f_y 分别为半导体激光器在 x, y 方向上从波面顶点到器件端面之间的距离,若在激光器之后放置一个在 x, y 方向上焦距分别为 f_x, f_y 的非球面透镜,即可将发散的像散光束校正为准直光束。充分利用Fresnel波带透镜可以灵活产生任意波面的特点,来替代传统的非球面准直透镜。针对日立HL6711G型可见光($\lambda = 670 \text{ nm}$)半导体激光器(像散 $50 \mu\text{m}$, $\theta_x = 34^\circ$, $\theta_y = 8^\circ$)设计并研制了具有4阶位相的器件。实验表明,其发散角被校正正在 $1 - 1.5 \text{ mrad}$,可以满足一般使用的要求^[4]。

上述几种二元光学器件是采用大规模集成电路的工艺制作的。首先由图形发生器生成掩模版,然后通过光刻技术将图形传递到基片的感光涂层上,并采用离子刻蚀技术即可在基片(如石英)上形成一定位相深度的浮雕结构。一个多阶位相器件的位相阶数 L 与掩模版数目 N 之间有关系式 $L = 2^N$ 。例如,一个8阶的二元光学器件,则需要制作3块不同特征尺寸的掩模版,经对中套刻制作而成。

参 考 文 献

[1] 严瑛白, 金国藩, 邹敏贤. 多位相微光学阵列发生器的设计与研制. 光子学报, 1994, 23 (增刊): 53 - 60.

- [2] 龙品, 邹敏贤, 陈柏刚等. 位相和坐标调制的多位相值相息片的优化设计. 仪器仪表学报, 1992, 13 (4): 431—436.
- [3] Yan Y B, W Xu, Jin G F et al. Fabrication of lenslet grating with multilevel phase. Proc. of SPIE, 1992, 1720: 522—529.
- [4] 王超, 严瑛白, 邹敏贤等. 用于波面校正的几种二元光学器件. 仪器仪表学报, 1995, 16 (1): 356—360.

DESIGN AND MANUFACTURE OF SEVERAL BINARY OPTICAL ELEMENTS

Yan Yingbai Wu Minxian Jin Guofan Mao Wenwei Bao Hongchun

(State Key Lab. of Precision Measurement Technology and Instruments, Tsinghua University, Beijing 100084)

Key words binary optics, Dammann grating, Fresnel zone-plate lens, Talbot grating, non-diffracting beam, astigmatism-free element

·资料·信息·

“中国主要濒危植物的保护生物学研究”通过验收

国家自然科学基金“八五”重大项目“中国主要濒危植物的保护生物学研究”，由中国科学院洪德元院士主持，中国科学院植物研究所、发育生物学研究所、成都生物研究所、江苏省植物研究所、武汉大学、北京大学、东北林业大学、哈尔滨师范大学、云南大学等单位共同承担。经过课题组全体研究人员历时5年的努力，从种群结构和动态模型、生殖生物学特性和遗传多样性3方面，对10种濒危植物进行了系统和较深入的研究，取得了一系列研究成果。该项目已于1998年4月29日在北京通过了由国家自然科学基金委员会组织的专家组验收。中国科学院副院长陈宜瑜院士、国家自然科学基金委员会副主任张新时院士等出席验收会议。

该项目在植物种群生态学研究方面，阐明了10种代表性濒危物种的种群分布和种群结构特征及其与生态环境的关系，揭示了导致濒危的一些关键因子和濒危过程的关键阶段，建立了预测种群动态模型，为相应的种群保护对策的制定提供了种群生态学依据。

该项目在植物生殖生物学特性方面，系统研究了10种濒危植物的生殖生物学，着重研究了这些植物的繁育系统、传粉生物学、种子与幼苗的生长发育特性等，揭示了这些濒危植物的生殖生物学特点和生殖史中的薄弱环节，分析了这些薄弱环节与生态因子的关系。研究发现，自（近）交引发的自交衰退、生物学特性与现存生境的不适应和人为破坏是导致这10种植物濒危的原因。探讨了解除濒危状态的可能性与对策，为濒危植物的保护提供了生殖生物学方面的依据。

该项目在遗传多样性研究方面，采用等位酶分析，结合随机引物扩增序列分析（RAPD）技术，对10个濒危物种进行了遗传多样性及时空变化检测，取得了一些具有较重要意义的研究成果。

(生命科学部 闫章才 宣传处 龙 军 供稿)