

位相光栅整形激光束剖面

梁向春 陈泽尊

(中国科学院上海光学精密机械研究所)

提 要

本文报道一种在近场呈高斯振幅分布的激光束进行空间调制的新技术,使得在远场(或焦面上)的激光剖面修饰成近似于平顶状振幅分布,其能量转换效率高达90%。

高效率的整形激光束空间剖面技术是一个由来已久的难题。近几年,由于民用和军用仪器的需要,人们对光束剖面整形技术产生很大兴趣并取得一定的进展,其着眼点大多在于“修饰”激光束剖面使之呈平顶强度分布。它们在技术上的共同点是在光路中插入某些元件来改变径向的透过率,诸如软边光阑,光吸收滤光镜或电光效应软边器等^[1~3],整形效率一般低于50%。为了使光束整形器能够高效率地使用入射激光束的能量,整形时必须做到重新分布能量而不是有选择的吸收^[4]。

一、原 理

根据透镜的傅里叶变换作用,近场激光束的振幅若是一维的 $\sin \sigma x = (\sin x/x)$ 或二维 $J_1(r)/r$ 函数型的分布,经透镜傅里叶变换后是一个 $\text{rect}(x)$ 方波型函数分布,则可导致远场剖面是均匀的近似平顶强度分布。

我们选用了二元矩形位相光栅^[4]对 He-Ne 光束高斯基模进行一维位相调制,即达到了平顶强度分布,且又提高了光能的转换效率。

二元位相光栅如图1所示, $2A$ 为光栅周期且中心具有空间 π 位相反转, d 的厚度是具有 π 位相差。实验上使用的二元位相光栅的 $2A=0.6$ mm, 膜层材料折射率 n 应选择与 K_9 玻璃相近的熔石英膜,对 6328 \AA 波长镀增透膜。

根据傅里叶光学理论分析^[5], 矩形位相光栅函数可表示为矩形函数与狄拉克梳卷积,即:

$$\psi(x) = \text{rect}(x/2A) \otimes \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(x-2nA), \quad (1)$$

而当周期光栅中心具有空间 π 位相反转的时候,相当于再卷积一个符号函数 $\text{Sgn}(x)$ 即

$$\psi(x) = \text{Sgn}(x) \otimes \text{rect}(x/2A) \otimes \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(x-2nA), \quad (2)$$

对 $\psi(x)$ 两边取傅里叶变换则有

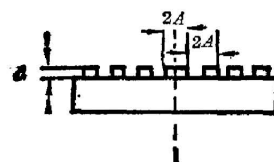


图1 二元位相光栅结构
Fig. 1 Two binary-phase grating configurations

$$\psi(f) = \text{F.T.} [\psi(x)] = \frac{1}{i\pi f} \sin C(2\pi f A) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta\left(f - \frac{n}{f_0}\right) \quad (3)$$

当 $\psi(f)$ 调制高斯光束后,可在远场产生平顶强度分布的光束剖面,图 2 表示二元位相光栅整形高斯光束的原理图。

显然,图 2(a) 中除了零级外,每一级都有两个成分,且位相差 π , 双曲线的作用是把高斯波的肩部提高又压缩尾部,使焦面上的光强分布是 $|\psi(f) \otimes G(f)|^2$, 如图 2(c) 所示的近似平顶方波。

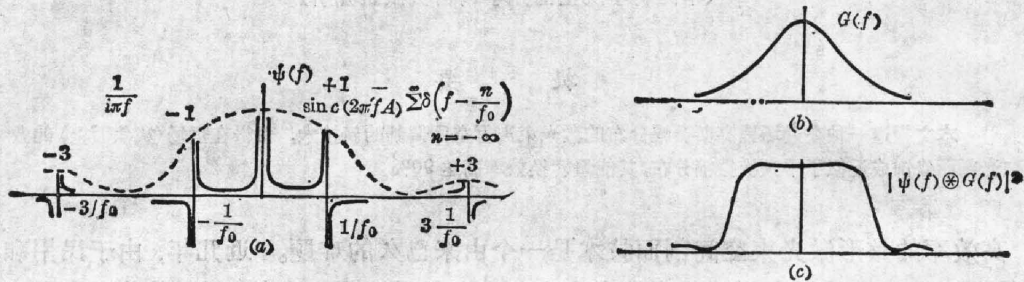


图 2 二元位相光栅整形器的原理图

Fig. 2 Schematic diagram of two binary-phase grating shaper

二、实验结果

采用二元位相光栅 2 对 He-Ne 激光 1 进行位相调制,实验布置如图 3 所示,透镜 3 为 $(D/f) = (1/25)$ 的长焦距透镜。

为了实时探测焦斑上的光强分布,我们采用了线列硅电荷耦合摄像器件*(简称 CCD)^[6]。光敏面积为 $21 \times 30 \mu\text{m}$, 转换效率为 99.9%, 两个光敏元之间距为 $27 \mu\text{m}$ 。使用时,我们用精密机械装置把 CCD 光敏元件置于透镜的焦面位置上。首先定标 CCD 器件的线性区,然后观察光强分布图形,采用照相方法记录,下面将说明几种实验结果:

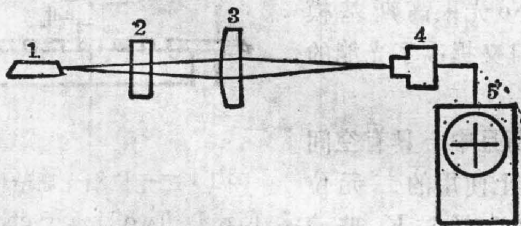


图 3 实验布置图

Fig. 3 Schematic diagram of experimental arrangement

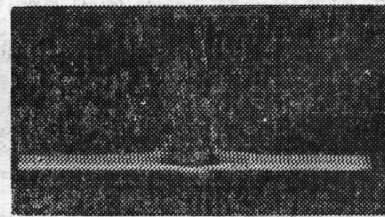


图 4 无整形器时焦斑光强分布(呈高斯型)

Fig. 4 Intensity distribution in the focal spot without beam shaper(Gaussian profile)

(1) 当 He-Ne 激光束不经过位相光栅,直接由透镜聚焦在焦斑上时,其光强呈高斯分布,如图 4 所示。

(2) 当 He-Ne 激光束通过无中心 π 位相反转的均匀周期位相光栅时,则焦斑光强分布如图 5 所示。

(3) 当 He-Ne 激光束通过中心具有空间 π 位相反转的二元位相光栅时,在透镜焦面上

* 这类器件由上海技术物理所提供。

的最佳整形焦斑光强分布如图 6 所示, 焦斑上的平顶光强分布形式已相当明显。

从图 5 和图 6 的比较, 明显地说明二元位相光栅对光束空间整形效果。

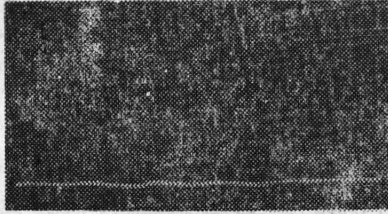


图 5 均匀周期位相光栅整形后的焦斑光强分布
Fig. 5 Intensity distribution in the focal spot with uniform periodic grating shaper

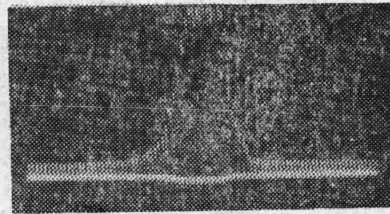
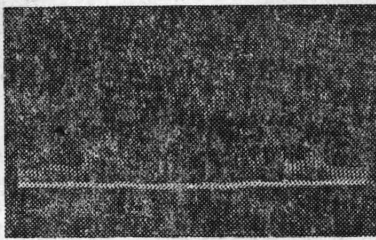
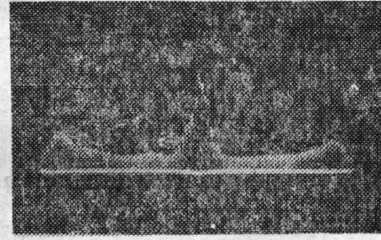


图 6 整形后焦斑平顶光强分布
Fig. 6 Flat-top intensity distribution in the focal spot with beam shaper

(4) 实验发现, 当位相光栅相对于 He-Ne 激光器位置作移动时, 焦斑上的图形有明显变化。若令 He-Ne 光束在空间某一位置处的光斑直径 ($1/e$ 光强剖面处的宽度) 为 W_0 , 位相光栅周期为 $2A$, 经多次实验表明, 当 $\sigma = (A/W_0) \approx 1$ 时, 整形为最佳值, 如图 5 所示。若二元位相光栅不在最佳位置上时, 则焦斑图形变化显著, 图 7 所示的分别是二元位相光栅与 He-Ne 激光器相距为 73 cm (图 7(a)) 和 231 cm (图 7(b)) 时的焦斑变化图形。



(a)



(b)

图 7 改变二元位相光栅相对于 He-Ne 激光器的距离所引起的焦斑光强分布结构
Fig. 7 Intensity distribution in the focal spot for various distances between the two binary-phase grating and He-Ne laser

(5) 测能量转换效率

当入射光强不变时, 把没经过光束整形器的焦斑图形和有二元位相光栅整形器后焦斑图形相比较, 令曲线下的面积表示能量, 定义两条曲线下面积的比值为能量转换效率, 通过计算得到能量转换效率达 90%。能量的损耗主要表现在光束整形以后, 光强分布的边缘区的起伏。

三、讨 论

激光束空间剖面整形技术有一定实用意义, 例如, 激光热处理材料表面; 半导体材料缺陷退化; 材料沉积物的汽化等, 采用整形激光束剖面定将更为有利。

本实验中的位相光栅制作还比较粗糙, 其周期还不易准确, 实验还限于 He-Ne 激光束。今后拟进一步用制板技术来保证光栅周期, 并在大口径激光束和不同波长的光束上开展激

光束的空间整形研究。

参加本实验工作的还有蒋玉柱同志。对窦玉林同志制作位相光栅膜具；范正修等同志协助镀膜；以及邓锡铭研究员和余文炎副研究员对实验工作的支持和有益的讨论，在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Y. Belvaux, S. Virdi; *Opt. Commun.*, 1975, **15**, No. 2 (Oct), 193.
- [2] M. Quintanilla, A. M. DeFrutos; *Appl. Opt.*, 1981, **20**, No. 5 (Mar), 879.
- [3] W. W. Simmons, G. W. Leppelmeir *et al.*; *Appl. Opt.*, 1974, **13**, No. 7 (Jul), 1629.
- [4] W. B. Veldkamp, C. J. Kaster; *Appl. Opt.*, 1982, **21**, No. 2 (15 Jan), 345.
- [5] M. Francon; 《光学-像的形成和处理》，(科学出版社，中译本，1979)，45.
- [6] 周复正, 竺庆春等; 《中国激光》，1984, **11**, No. 3 (Mar), 183.

Shaping of laser beam profiles with a phase grating

LIANG XIANGCHU AND CHEN ZEZUN

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

(Received 12 February 1985; revised 19 March 1985)

Abstract

We developed a new technique using a phase grating, which modulates the near field of a laser beam to form a far-field flat-top intensity profile. The conversion efficiency is about 90%.