

# 一种新型的可调分束器\*

周 进 高文琦 韩良恺 黄信凡

(南京大学物理系, 南京 210093)

**摘 要** 介绍了一种二元光学光束分束器, 这种分束器可使分出的两光束强度比连续可调, 文中给出了理论和实验结果。

**关键词** 二元光学, 光束分束器。

## 1 引 言

分束元件在干涉仪、光信息处理、全息照相和光计算中都有许多应用, 能产生分束功能的器件很多, 如利用不同介质界面的反射和折射原理, 在介质上镀一定的膜系、利用晶体的各向异性制成偏振光分束器、利用光栅的衍射来分束等等。这些分束元件所分出的光束的能量之比是一定的, 要改变分束的能量比通常需要改变其结构。常见的可调分束板就是在同一基片上在不同的区域镀不同的膜系来实现的, 也有人提出用体全息光栅来实现该功能<sup>[1]</sup>, 本文则提出另一种新的光强可调分束器件, 它是建立在衍射光学与微电子工艺相结合的二元光学基础上, 具有光束比连续可调的性能, 并且寿命长。

## 2 基本原理

众所周知, 光栅可以将一束入射光分成0级、±1级…, 各级的能量大小与光栅的结构有关, 常见的振幅型光栅能量主要集中在0级, 衍射级能量较少, 如矩型光栅, ±1级最高所能达到的能量仅是入射能量的10%<sup>[2]</sup>, 其他衍射级更低, 因而调节光栅的空占比来达到调节分束比意义不大。位相型光栅衍射级可以获得较大的能量比, 但其结构的控制是件困难的事。随着八十年代末二元光学技术的提出<sup>[3]</sup>, 使控制这种位相结构成为可能, 下面讨论一种新的二元光学分束器, 它的结构与±1级衍射光的衍射效率的关系。

设空占比为1:1, 密度分别为 $N_1/\text{mm}$ 和 $2N_1/\text{mm}$ 两块光栅掩膜版。用二元光学技术<sup>[4]</sup>先后在同一玻璃基片上刻蚀, 其深度为

$$d_1 = \lambda/2(n-1) \text{ 和 } d_2 = d_1/2 \quad (1)$$

$\lambda$ 为分束器的工作波长,  $n$ 为基片的折射率。

一般情况下, 所得到的二元位相光栅单元剖面结构如图1(a), 小台阶深度为 $d_1$ , 大台阶

\* 江苏省科委基金资助课题。

收稿日期:1994年10月12日; 收到修改稿日期:1994年12月19日

深度为  $d_1 + d_2$ ，与之相应的位相为  $\varphi(x)$  它可以表示为  $\phi_1(x)$ 、 $\phi_2(x)$  的叠加，如图 1(b)，即

$$\phi(x) = \phi_1(x) + \phi_2(x)$$

根据夫琅和费衍射公式<sup>[5]</sup>这种位相结构的衍射函数为

$$F(u) = \frac{c}{b} \int_{-\infty}^{+\infty} \text{comb} \left( \frac{x}{b} \right) \otimes \left\{ \text{rect} \left( \frac{x - b/2}{b} \right) \right. \\ \left. \times \exp [i\varphi(x)] \right\} \exp [i(-2\pi xu)] dx \\ = c \text{comb} (bu) [F_1(u) \otimes F_2(u)] \quad (2)$$

这里  $c = (A/r_0) \exp [i(\omega t - 2\pi r_0/\lambda)]$

$$\text{comb} (bu) = \sum_n \delta(bu - n) = \frac{1}{b} \sum_n \delta(u - n/b)$$

$$F_1(u) = \int_0^b \exp [i\phi_1(x)] \exp [i(-2\pi xu)] dx$$

$$F_2(u) = \int_0^b \exp (i\phi_2(x)) \exp [i(-2\pi xu)] dx$$

$\otimes$  表示卷积，  $u = \sin \theta/\lambda$

下面先分别计算  $F_1(u)$  和  $F_2(u)$

$$F_1(u) = c \int_0^b \exp [i\phi_1(x)] \exp (-i2\pi xu) dx$$

$$= c \left[ \int_0^{b/2} \exp (-i2\pi xu) dx + \int_{b/2}^b \exp (i\pi) \exp (-i2\pi xu) dx \right]$$

$$= icb \exp (-i\pi ub) \text{sinc} (\pi ub/2) \sin (\pi ub/2)$$

$$F_2(u) = c \left[ \int_0^a \exp [i(\pi/2 - 2\pi ux)] dx + \int_a^{a+b/4} \exp (-i2\pi ux) dx + \int_{a+b/4}^{a+b/2} \exp [i(\pi/2 - 2\pi ux)] dx \right]$$

$$+ \int_{a+b/2}^{a+3b/4} \exp (-i2\pi ux) dx + \int_{a+3b/4}^b \exp [i(\pi/2 - 2\pi ux)] dx$$

$$= c \exp [-i(2\pi ua + \pi ub - \pi/4)] \{ b \text{sinc} (\pi ub/4) \cos (\pi ub/2) \cos (\pi/4 - \pi ub/4) \}$$

$$+ 2a \exp [-i(\pi ua - \pi/4)] \sin (\pi ub) \text{sinc} (\pi ua) \}$$

式中  $a$  为第二块光栅相对于第一块光栅的偏移量(见图 1)。则

$$F(u) = C \left\{ \sum_n \exp (-in\pi) \text{sinc} (n\pi/2) \sin (n\pi/2) \delta(u - n/b) \right\}$$

$$\otimes \left\{ \sum_m \exp (-i2m\pi a/b - im\pi) [\text{sinc} (m\pi/4) \cos (m\pi/2) \cos (\pi/4 - m\pi/4) \right.$$

$$\left. + 2(a/b) \exp (-im\pi a/b) \sin (m\pi) \text{sinc} (m\pi a/b) \right] \delta(u - m/b) \}$$

$$= C \left\{ \sum_n \frac{2}{n\pi} \delta(u - n/b) \right\}$$

$$\otimes \left\{ (\sqrt{2}/2) \sum_m \frac{4}{m\pi} \exp [-i2m\pi(a/b)] \delta(u - m/b) + (\sqrt{2}/2) \delta(u) \right\}$$

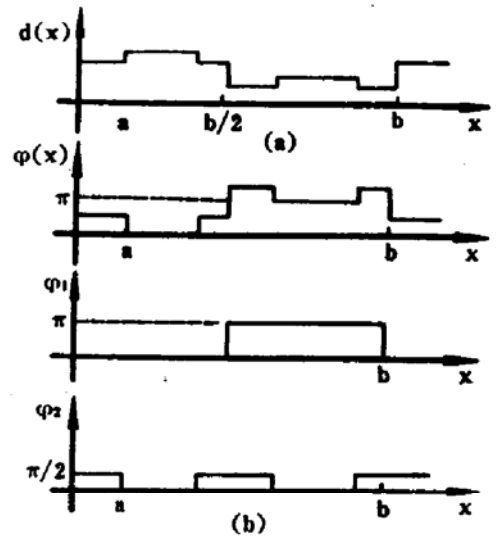


Fig. 1 Structure of the splitter  
(a) surface-relief (b) phase

$$= C \sum_n \left\{ \sum_m \left( \frac{4\sqrt{2}}{nm\pi^2} \right) \exp[-i2m\pi(a/b)] \delta[u - (m+n)/b] + \frac{\sqrt{2}}{n\pi} \delta(u - n/b) \right\} \quad (4)$$

式中  $C = ic^2b^2 \exp(i\pi/4)$

$$n = \pm 1, \pm 3, \pm 5, \dots; \quad m = \pm 2, \pm 6, \pm 10, \dots$$

考虑  $F(u)$  的  $-1$  级, 即  $m+n=-1$ , 且令  $q = a/b$

$$F(-1) = C \left\{ \sum_m - \frac{4\sqrt{2}}{m(m+1)\pi^2} \exp(-2m\pi q) - \frac{\sqrt{2}}{\pi} \right\}, \quad m = \pm 2, \pm 6, \pm 10, \dots \quad (5)$$

这是与  $q$  有关的多项式, 当  $q=0$  时, 即  $a=0$  上式经运算后得变为

$$\begin{aligned} F(-1) &= C \left[ \sum_m \frac{-4\sqrt{2}}{m(m+1)\pi^2} - \sqrt{2}/\pi \right] \\ &= -C2\sqrt{2}/\pi \end{aligned} \quad (6)$$

衍射效率

$$\eta_{-1} = \left| \frac{F(-1)}{C} \right|^2 \approx 81\% \quad (7)$$

这就是常见的四台阶光栅的一级衍射效率。

当  $a$  在  $0-b/4$  之间即  $q$  在  $0-0.25$  之间变化时, 由(5)式用计算机计算出  $-1$  级  $\eta \sim q$  关系和由对称性得到与之相应的  $+1$  级  $\eta \sim q$  关系如图 3。从变化曲线看, 当  $a$  从  $0 \rightarrow b/4$  时,  $-1$  级的衍射效率从  $81\% \rightarrow 0$ 。  $+1$  级的效率从  $0 \rightarrow 81\%$ , 同样  $a$  从  $b/4 \rightarrow b/2$  时,  $-1$  级的效率从  $0 \rightarrow 81\%$ ,  $+1$  级的效率从  $81\% \rightarrow 0$ 。即两光强之比随着改变, 这种变化是连续的, 因而可利用它实现光束比连续可调的分束器。

### 3 制作和实验结果

光束比连续可调的分束器是利用二元光学方法来制作的, 先用电子束制成  $N$  1/mm 的光栅和  $2N$  1/mm 的光栅分别称为光栅 1 和光栅 2, 本实验中  $N$  为 100。利用微电子技术先将光栅 1 刻蚀在玻璃或石英基片上, 其深度为  $d_1$ , 再将光栅 2 与光栅 1 成一小角度  $\theta$  (如图 2) 套刻在光栅 1 上, 其深度为  $d_2$ 。这就使得在光栅方向上形成与  $a$  有关结构, 不同的区域  $a$  不同, 其  $\pm 1$  级的衍射效率不同, 当入射光束在该元件上连续移动时所分出的  $\pm 1$  级两光束强度也将连续变化, 这就达到了光强连续可调的效果。  $\theta$  的大小与调节光束比的灵敏度有关, 一般在整个区域出现  $1 \sim 2$  个莫尔条纹为好, 即  $\theta \sim b/L$  或  $2b/L$ ,  $L$  为光栅的长度。

用光电接收器在  $\pm 1$  级处测量光强, 当分束器沿光栅方向机械运动时, 这时光栅的空间结构在变化, 测得衍射效率变化曲线如图 3, 这与理论曲线基本相符合, 其偏差主要是在制作过程中, 掩膜光栅向基片转移时难以保持 1:1 的空占比和刻蚀深度偏离所要求的  $d_1$ 、 $d_2$  以及刻蚀中的坡角效应。

图 4 是在光栅的几个不同位置时, 用 X-Y 函数记录仪得到的  $\pm 1$  级的相对光强, 可见其光强比是在变化的, 这正是可调分束器所需要的。零级光和其它级光强也有变化, 这反映了光能量并不仅是在  $\pm 1$  级中转换。有部分会转换到其它级, 但零级光的出现纯属于制作过程的误差带来的。

**结束语** 从上面讨论看, 二元光学分束器有如下特点: 1) 分束比在较大范围内连续可调, 分束的角度不变。2) 由于是刻蚀在玻璃基片上, 使用寿命长, 承受功率高。

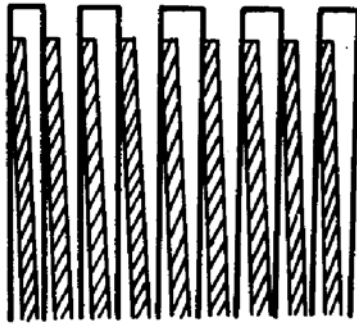
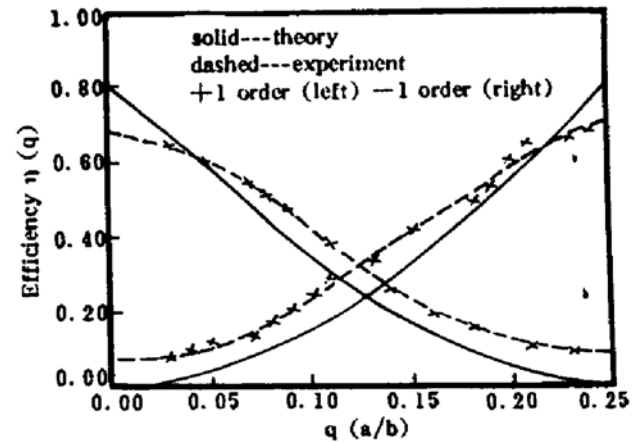
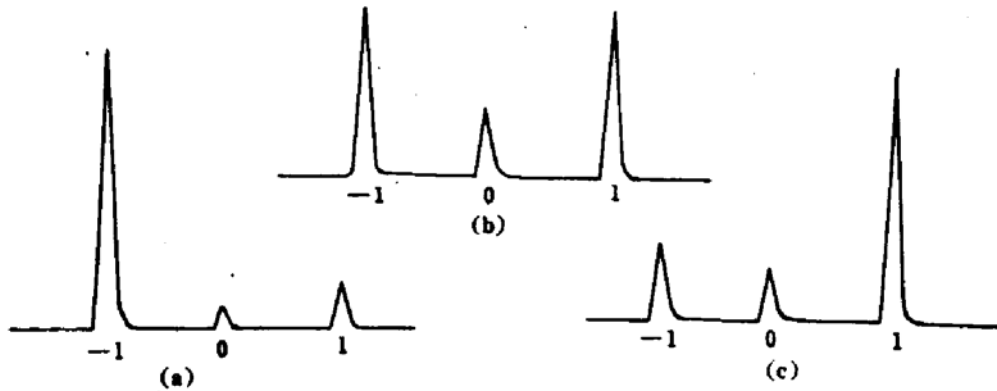


Fig. 2 Two gratings directions in etching

Fig. 3  $\pm 1$  orders diffraction efficiencies as a function of  $q(a/b)$ Fig. 4  $\pm 1$  orders relative intensity in different areas of the splitter (a)  $q = 0.020$  (b)  $q = 0.125$  (c)  $q = 0.200$ 

感谢李联珠同志和电子部 14 所的陈伯荣高级工程师在微电子工艺上的帮助。

### 参 考 文 献

- [1] 陈林森, 吴建宏, 连续变束比全息分束器. 仪器仪表学报, 1993 14(3): 298
- [2] S. H. Lee, *Optical Information Processing*, Berlin, Springer-Verlag, 1981, 58
- [3] W. B. Veldkamp, Binary optics; the optics technology of 1990's, CLEO, May 1990, Los Angeles, USA, 21~25
- [4] 周 进, 高文琦等, 用二元光学方法制作的高效率衍射光栅. 中国激光, 1995, 22(2): 123~125
- [5] 高文琦等, 光学. 南京, 南京大学出版社, 1994, 133

## Binary Optical Splitter with Continuous Variable Beams Ratio

Zhou Jin      Gao Wenqi      Han Liangkai      Huang Xinfan

(Department of Physics, Nanjing University, Nanjing 210093)

(Received 12 October 1994; revised 19 December 1994)

**Abstract** In this paper, a binary optical splitter is described. The splitter can adjust splitted ratio of two light beams. the theory and experimental result are presented and discussed.

**Key words** binary optics, splitter