

文章编号: 0253-2239(2003)04-0431-03

# 基于塔尔博特效应的分波器和分束器\*

祖继锋 周常河 席 鹏 戴恩文 刘立人

(中国科学院上海光学精密机械研究所信息光学实验室, 上海 201800)

**摘要:** 给出一个单一器件同时具有分波器和大规模分束器功能的实验结果,其设计原理基于塔尔博特自成像效应。以两波长为例,通过改变分数塔尔博特距离和光栅周期等参量,实验上实现了两波长光信号在空间上的交叉分离。

**关键词:** 光纤通信技术; 塔尔博特效应; 分波器; 阵列照明器

中图分类号: O436.1 文献标识码: A

## 1 引 言

近年来光信号的分(合)波器和功率分束器在光纤通信领域中扮演着十分重要的角色,它们在视频信号分配、个人通信系统及光纤局域网等领域获得了广泛的应用。基于塔尔博特(Talbot)效应制作的阵列照明器在诸如光通信、光互连、光计算、数据存储等许多研究领域也获得了实际应用<sup>[1~3]</sup>。

本文将给出一个单一器件同时具有分波器和大规模分束器功能的阶段性实验结果。据我们所知,这是一个新的将分波器和分束器功能合二为一的方案。从设计原理和实验结果来看,比较适合在粗波分复用(CWDM)系统中应用<sup>[4]</sup>。

## 2 设计原理

在塔尔博特自成像效应中,对于波长为  $\lambda_1$  的平面波,在距离光栅  $Z_T$  位置将形成光栅的自成像,周期与光栅周期  $d$  相同。其中  $Z_T = N(2d^2)/\lambda_1$ ,  $N = 1, 2, 3, \dots$ ,  $Z_T$  称为塔尔博特距离。在  $Z_T/2$  处也产生自成像,周期仍为  $d$ ,但光场分布沿横向错移  $d/2$ ,故称半周期位移自成像。利用双波长  $\lambda_1, \lambda_2$  中的一个光波产生自成像,另外一个产生半周期位移自成像,这样在某个位置  $Z$  处,两个光栅的自成像在空间上正好相差半个周期,彼此交叉分离。因此上述原理不但能实现大规模的分束功能,而且可以实现双波长的

波分解复用,当然这是一种最简单的设计方案。因为我们可以许多分数塔尔博特距离  $Z_T/n$  ( $n$  为整数)处,得到不同周期的光斑阵列,此外再考虑相位光栅占空比及阵列光斑压缩比等参量,我们能获得多种设计方案。 $Z$  可由下式求得

$$Z = N_1 \times 2d^2/\lambda_1 = (N_2 + N_3) \times 2d^2/\lambda_2,$$

改变参量  $N_1, N_2, N_3$ , 使上面等式成立。 $N_1, N_2, N_3$  有以下几种选择:

- 1)  $N_1, N_2$  取整数,  $N_3 = 1/2$ ;
- 2)  $N_1, N_2$  分数,  $N_3 = 1/2$ ;
- 3)  $N_1, N_2$ , 取整数或分数,  $N_3 = 0$ 。

从上述 3 种方案可以看出,  $Z$  更加依赖于  $\lambda_1/\lambda_2$  或  $\lambda_2/\lambda_1$  的比值。下面考虑情况 1)。假设

$$\lambda_1 = 1300 \text{ nm}, \lambda_2 = 1550 \text{ nm},$$

进一步化简,

$$\frac{N_1}{N_2 + 1/2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{1300}{1550} = \frac{13}{15.5}.$$

当

$$N_1 = 13, N_2 = 15, N_3 = 1/2,$$

就能满足上述设计要求,此时

$$Z = N_1 \times Z_{\lambda_1} = 13 \times 2d^2/\lambda_1.$$

$Z$  与光栅周期  $d$  成平方正比关系。假设波长仍为

$$\lambda_1 = 1300 \text{ nm}, \lambda_2 = 1550 \text{ nm},$$

可以得到如下参量:当  $d = 100 \mu\text{m}$  时,  $Z = 200 \text{ mm}$ ;  $d = 40 \mu\text{m}$  时,  $Z = 32 \text{ mm}$ ;  $d = 20 \mu\text{m}$  时,  $Z = 8 \text{ mm}$ 。因为  $d$  减小,  $Z$  也减小,可缩小未来器件的尺寸。

## 3 实验结果与讨论

由于  $Z$  更加依赖于  $\lambda_1/\lambda_2$  或  $\lambda_2/\lambda_1$  的比值,因此为方便起见,我们在实验中使用氦氖激光器和半导体激光器作为工作光源,波长分别为  $\lambda_1 = 633 \text{ nm}$ ,

\* 国家自然科学基金(60177016)、国家杰出青年科学基金(60125512)和上海市自然科学基金(011661031, 012261011)资助课题。

E-mail: jifengzu@sohu.com

收稿日期: 2002-04-18; 收到修改稿日期: 2002-05-20

$\lambda_2 = 785 \text{ nm}$ 。经过扩束、准直、共线入射到普通的一维光栅,其周期为  $100 \mu\text{m}$ ,实验装置如图 1 所示。

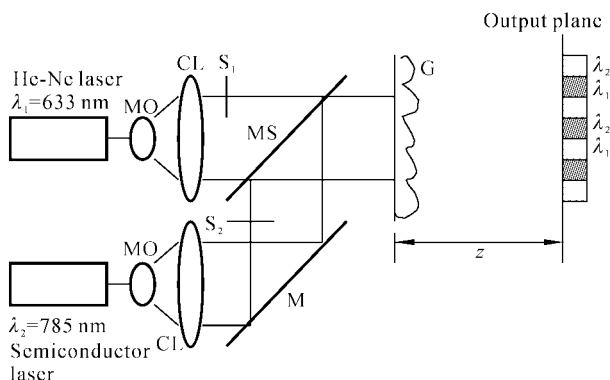


Fig.1 The schematic of experimental setup. MO: microscope objective; CL: collimated lens; G: grating; BS: beam splitter; M: mirror;  $S_1, S_2$ : shutter

在输出面大约  $Z=125 \text{ mm}$  处,借助于 CCD 我们可看到两波长信号在空间上的分离图案。实验结果见图 2。图 2 是由同一光路形成的一个合成图,

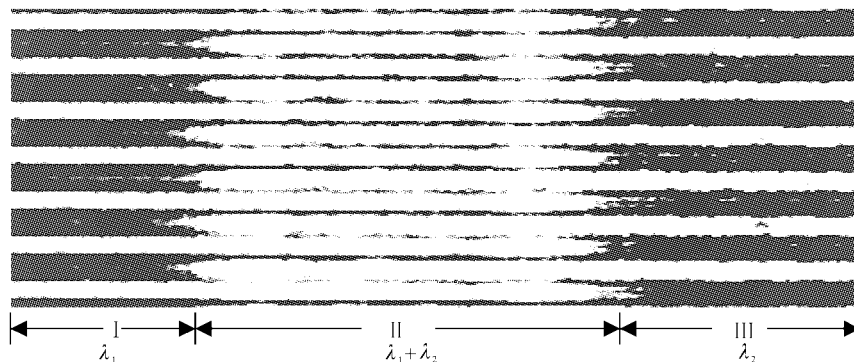


Fig.2 The picture of the self-images of light beam with  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$  together from CCD, in the center region II of this picture, the self-images with two wavelengths are exactly interleaved

由于本方案是基于光栅自成像效应,本身就具备制作大规模、高效率、等强度分束阵列的能力。这种器件在充分体现光学信息并行处理、快速实现光功率分配的同时,具备分波功能,这对光纤到户或视频信号分配等应用领域具有重要的研究价值。依据上述分析,我们认为此方案比较适合于双波长以及潜在的三波或多波粗波分复用应用系统。

### 参 考 文 献

1 Lohmann A W, Thomas J A. Making an array illuminator based on the Talbot effect. *Appl. Opt.*, 1990, **29**(29):

方法是利用  $S_1, S_2$  分别遮挡两束光的一部分区域,各约占光栅面积的  $1/3$ ,相当于把一个光栅大致分成三个部分。分别由  $\lambda_1, \lambda_2$  及  $(\lambda_1 + \lambda_2)$  光波照射,这样同时得到三个区域图形,有利于我们观看和分析实验结果。其中 I 区表示在光路中遮挡  $\lambda_2$  的一部分,此区无  $\lambda_2$  光波,即  $\lambda_1$  光波单独入射情况,III 区为在光路中遮挡  $\lambda_1$  部分,此区无  $\lambda_1$  光波,即  $\lambda_2$  光波单独入射的图形,因此 I 区、III 区相当于  $\lambda_1, \lambda_2$  单独入射情况。II 区为两波长同时入射情况,可以看到光信号在空间上的交叉分开图案。由于光路分别遮挡的缘故,图 2 中的背景噪声有少量增加。但实验中观察到无遮挡时 I 区、III 区图形的信噪比显著提高。由于二阶相位阵列照明器构造情形有限,为了提高压缩比,便于光纤耦合,解决方案是使用多阶相位光栅,同时有很高的光效率。多阶相位阵列照明器构造情形更多,有关内容参见文献[5]。根据本文的原理,我们能够实现光通信窗口波长  $1310 \text{ nm}$  和  $1550 \text{ nm}$ (或其它粗波分复用波长)的分波器和大型分束器,相关的参量设计将另文讨论。

4337~4340

- 2 Xi Peng, Zhou Changhe, Zhao Shuai *et al.*. Phase-contrast hexagonal array illumination. *Opt. Commun.*, 2001, **192**(6):193~197
- 3 Arrizon V, Ojeda-Castaneda J. Multilevel phase gratings for array illuminator. *Appl. Opt.*, 1994, **33**(25):5925~5931
- 4 Hecht J. Coarse WDM: A cost-effective choice for the short haul. *Laser Focus World*, 2002, **38**(1):155~159
- 5 Zhou Changhe, Wang Huaisheng, Zhao Shuai *et al.*. Number of phase levels of a Talbot array illuminator. *Appl. Opt.*, 2001, **40**(5):607~611

## Wavelength-Division and Beam Splitting Element Based on the Talbot Effect

Zu Jifeng Zhou Changhe Xi Peng Dai Enwen Liu Liren

(*Information Optics Laboratory, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800*)

(Received 18 April 2002; revised 20 May 2002)

**Abstract:** The experimental results that a single element based on the Talbot self-imaging effect realizing both beam splitting and wavelength-division multiplexing functions are presented. For the input beam with two wavelengths, and by designing the parameters such as grating period and the fractional Talbot distance, the interleaved self-images in space of a grating corresponding to two wavelengths can be exactly observed in the experiment.

**Key words:** optical fiber communications technique; Talbot effect; wavelength-division element; array illuminators