

耦合全息光栅转换平行光的研究及其应用

朱 拓 Steen G. Hanson

(无锡轻工业学院) (Risø National Laboratory, Denmark)

摘要 从理论和实验上研究了用一对全息光学(HOE)获得输出光束相同于输入平行光束的可行性。讨论了这种耦合 HOE 的应用性。

关键词 全息光栅; 聚焦

0 引言

当今对全息光学元件(HOE)的研制和应用正方兴未艾,本文对 HOE 的应用提出了一种新的设想。即耦合一对相同的全息光栅而获得一平行入射光经该对全息光栅调制后其出射光仍然是平行光的结果。为满足这种设想的全息光栅的焦点研究入手,从理论和实验上探讨了该设想的可行性,讨论了获得这种“平行光”后可能的实用性。

1 基本原理

根据全息术的基本原理,全息光栅的条纹间距 d 和制作光栅时物光与参考光间的夹角 θ 之间的关系为^[1]:

$$d = \frac{\lambda_1}{2\sin(\frac{\theta}{2})} \quad (1)$$

式中 λ_1 为制作全息光栅时的光波波长。全息光栅被照射时,入射光和衍射光的定位关系为^[2]:

$$d(\sin\alpha + \sin\beta) = \pm K\lambda_2 \quad K = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

式中 α 和 β 分别为入射光和衍射光与光栅法线间的夹角; λ_2 为照射光栅的光波波长(下面取 $k=1$ 的情况)。将全息光栅看作全息图来处理。即将制作全息光栅时通过针孔的点光源视作物体,全息图再现时物体的像即为全息光栅的焦点。所以全息光栅焦点的位置 (x_i, y_i, z_i) 由下式^[3]决定:

收稿日期:1992-02-15

$$\begin{aligned}
 z_i &= \left(\frac{1}{z_p} \pm \frac{\mu}{z_R} \mp \frac{\mu}{z_0} \right)^{-1} \\
 x_i &= \mp \mu \frac{z_i}{z_0} x_0 \pm \mu \frac{z_i}{z_R} x_R + \frac{z_i}{z_p} x_p \\
 y_i &= \mp \mu \frac{z_i}{z_0} y_0 \pm \mu \frac{z_i}{z_R} y_R + \frac{z_i}{z_p} y_p
 \end{aligned} \quad (3)$$

式中, μ 为 λ_2 与 λ_1 的比值; (x_0, y_0, z_0) 和 (x_R, y_R, z_R) 分别制作全息光栅时物光和参考光光源的位置坐标(见图 1(a)); (x_p, y_p, z_p) 则为入射到光栅上的再现光的光源位置坐标(见图 1(b)).

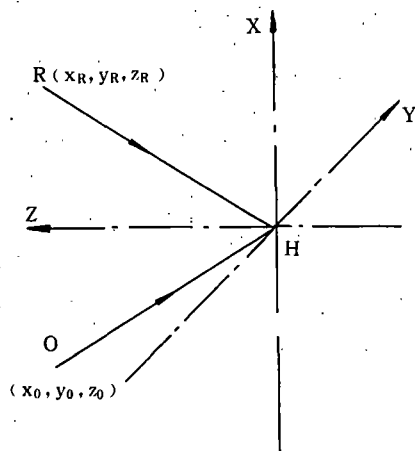


图 1(a) 全息光栅记录

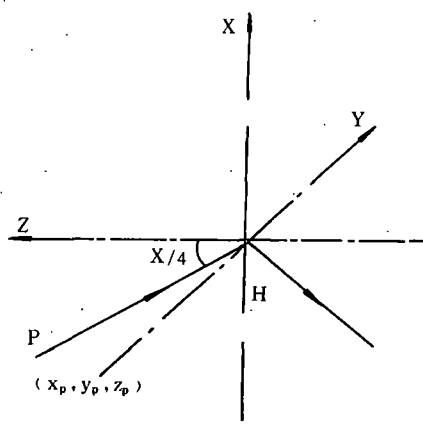


图 1(b) 全息光栅再现

实用时作下列特定条件假设:

- (1) $y_R = y_0 = 0$, 作二维考虑。
- (2) 参考光和再现光为平行光。
- (3) 物光和参考光对称设置, 再现光以与全息光栅的法线成 $\frac{\pi}{4}$ 的夹角入射。

则得:

$$z_R \rightarrow \infty, x_R \rightarrow \infty \text{ 但 } \frac{x_R}{z_R} = \tan \frac{\pi}{2} \quad (4)$$

$$z_p \rightarrow \infty, x_p \rightarrow \infty \text{ 但 } \frac{x_p}{z_p} = -\tan \frac{\pi}{4}$$

所以式(3)简化为:

$$\begin{aligned}
 z_i &= -\frac{z_0}{\mu} \\
 x_i &= 2x_0 - z_i
 \end{aligned} \quad (5)$$

式(5)给出了全息光栅被平行光照射时其焦线的具体方程式。我们注意到:

$$\frac{dx_i(\lambda_2)}{dz_i(\lambda_2)} = -1 \quad (6)$$

即在上述条件下, 全息光栅的焦线与全息光栅总是成 45° 夹角。根据上述特性, 我们在相对称的位置上放置第二个光栅(称光栅 II)见图 2。入射到光栅 I 上的平行光经第一个光栅的衍射作用后会聚在焦线上再继续传播到光栅 II 上经光栅 II 再一次的衍射作用而期望获得平

行光的输出。

在选定的坐标系中(见图2),设两光栅的直径均为 D ,光栅 I 放置在 $(-\frac{D}{2}, 0)$ 到 $(\frac{D}{2}, 0)$ 上。我们来确定光栅 II 的位置。从点

$(-\frac{D}{2}, 0)$ 过式(5)的直线族方程为:

$$z = \frac{(-\frac{\lambda_1}{\lambda_2}z_0)(x + \frac{D}{2})}{\frac{D}{2} + 2x_0 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2}z_0} \quad (7)$$

及从点 $(\frac{D}{2}, 0)$ 过式(5)的直线族方程为:

$$z' = \frac{(-\frac{\lambda_1}{\lambda_2}z_0)(x - \frac{D}{2})}{2x_0 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2}z_0 - \frac{D}{2}} \quad (8)$$

我们用点 $(0, 0)$ 到式(5)的距离作为一个特殊焦距 f_s ,

$$f_s = -\sqrt{2}x_0 \quad (9)$$

由对称性可定下光栅 II 的位置由 $(2x_0, 2x_0 + \frac{D}{2})$ 到 $(2x_0, 2x_0 - \frac{D}{2})$ 。

现在讨论有多少平行入射光可到达全息光栅 II 上。光栅 II 处 $x = 2x_0$,所以式(7)和式(8)为:

$$z = \frac{(-\frac{\lambda_1}{\lambda_2}z_0)(2x + \frac{D}{2})}{2x_0 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2}z_0 + \frac{D}{2}} \quad (10)$$

$$z' = \frac{(-\frac{\lambda_1}{\lambda_2}z_0)(2x_0 - \frac{D}{2})}{2x_0 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2}z_0 - \frac{D}{2}} \quad (11)$$

从图2上显见:

$$\text{如果 } z \geq 2x_0 + \frac{D}{2}$$

$$z' \leq 2x_0 - \frac{D}{2} \quad (12)$$

则平行入射光将达不到光栅 II 上。所以得到:

$$\lambda_{2,\max} = \frac{-4\lambda_1 z_0}{4x_0 + D}$$

$$\lambda_{2,\min} = \frac{-4\lambda_1 z_0}{4x_0 - D} \quad (13)$$

即是说波长大于 $\lambda_{2,\max}$ 和小于 $\lambda_{2,\min}$ 的光波将落在光栅 II 之外。另外从图2上也可看到如果 $z' \geq 2x_0 + \frac{D}{2}$,则可到光栅 II 上的光的范围为 $2x_0 + \frac{D}{2} - z$;如果 $z \leq 2x_0 - \frac{D}{2}$,则可到光栅 II 上的光的范围为 $z' - (2x_0 - \frac{D}{2})$ 。我们用 L 来表示光栅 II 上光照范围的线度, $P = L/D$

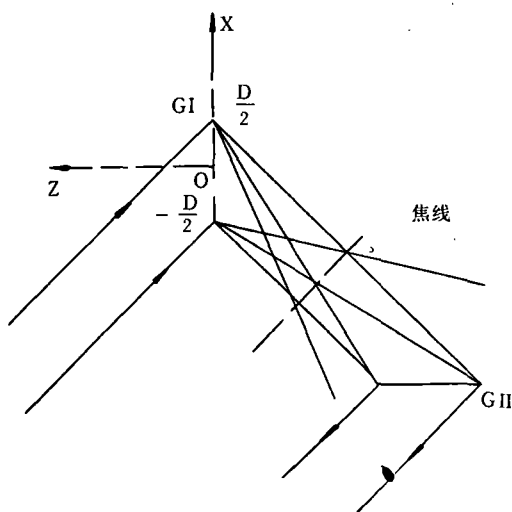


图2 耦合两块光栅

表示光照光栅Ⅱ的线度与光栅线度之比,则得:

$\lambda_{2,\min} \leq \lambda_2 \leq \lambda_{2,z}$ 时

$$P = P_l = \frac{-16x_0z_0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2} - 16x_0^2 + 8x_0D + 4Dz_0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2} - D^2}{2D(4x_0 + 2z_0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2} - D)} \quad (14)$$

式中

$$\lambda_{2,z} = \frac{-16\lambda_1x_0z_0}{16x_0^2 - D^2} \quad (15)$$

此式为 $P = 1$ 时的对应波长。

同样可得: $\lambda_{2,\max} \geq \lambda_2 \geq \lambda_{2,z}$ 时

$$P = P_r = \frac{16x_0z_0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2} + 16x_0^2 + 8x_0D + 4Dz_0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2} + D^2}{2D(4x_0 + 2z_0 \frac{\lambda_1}{\lambda_2} + D)} \quad (16)$$

P_l 和 P_r 分别表示 P 的左右之值。图3给出了 P_l 和 P_r 的计算之值。

到达光栅Ⅱ的波长范围为:

$$\Delta\lambda = \lambda_{2,\max} - \lambda_{2,\min} = \frac{8\lambda_1z_0D}{16x_0^2 - D^2} \quad (17)$$

如果 $P_l = P_r = 1/2$

$$\Delta\lambda_h = \frac{4\lambda_1z_0D}{4x_0^2 - D^2} \quad (18)$$

由式(1)、(2)、(9)、(13)、(14)、(15)、(16)、(17)、(18)可作出各种要求的选择而进行实用。

2 实验情况

用氩离子激光器($\lambda_1 = 488\text{nm}$)发出的光束来制作光栅Ⅰ,Ⅱ。为使有较多的可见光能达到光栅Ⅱ上,作如下选择:

$$x_0 = -6.65(\text{cm});$$

$$z_0 = 8.00(\text{cm}); \frac{\theta}{2} = 39.76^\circ \quad (19)$$

光栅直径为 $8.00(\text{cm})$ 记录光强为 $5.0\text{mw}/\text{cm}^2$ 。用一束与光栅成 45° 角的平行

光照射到一制作好的光栅,则焦线的位置和理论计算位置基本相符。由于对整块光栅而言,条件(3)难以实现及存在象差的缘故,焦线与光栅的夹角略大于 45° ,但在光栅前放一个光阑,随着光阑的收缩则焦线与光栅间的夹角趋于 45° 。接前计算,耦合这个相同的光栅,用上述方法照射光栅Ⅰ则光栅Ⅱ后面得到输出的光束。由于受实验制约,输出的光光强较弱,平行度也不理想但仍可设想作下例应用。

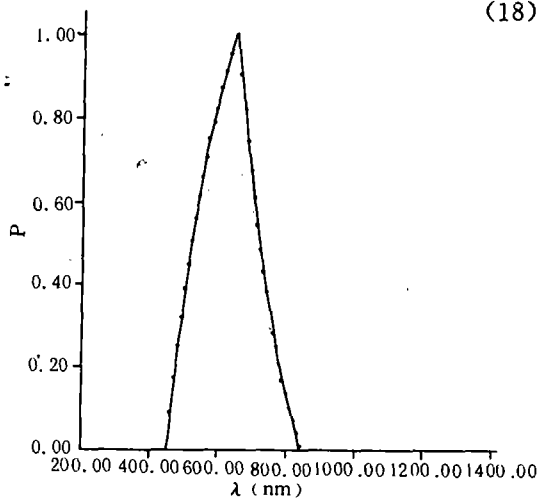


图3 P_l 和 P_r 的计算值

($x_0 = -6.65\text{cm}, z_0 = 8.00\text{cm}, D = 8.00\text{cm}$)

3 应用举例

这个系统在两光栅间存在着一个焦平面,该平面处光谱以不同波长的顺序而得到特定的展开,当我们在焦平面的横断面上由光阑控制光时,则可迅速改变各种波长成分的输出光束。

其次可将该系统用于遥感技术之中,若如对土地表面元的遥感术中,由该系统对成像作快速光谱扫描则可避免采用机械方法来改变相干滤色片的光谱扫描术所带来的时间损耗。

参 考 文 献

- 1 J. W. 顾德门. 傅 叶光学导论. 科学出版社, 1979; 8~7
- 2 M. 玻恩 E. 沃耳夫. 光学原理. 科学出版社, 1978; 8~6
- 3 P. Hariharan. Optical holography. Cambridge University Press, 1984; 3~1

Study of Combining Holographic Gratings to Transform Parallel Beam and Its Application

Zhu Tuo

Steen G. Hanson

(Wuxi Institute of Light Industry) (Risø National Laboratory, Denmark)

Abstract The Purpose of this investigation was to theoretically and experimentally check the possibility of Combining two holographic gratings in a way that the spatial distribution of the input field is as same as in the field of the output plane. The application of the system is also discussed.

Key-words Holographic gratings; Focalization