

计算层析成像光谱仪中二元光学元件的研究

袁 惠 周 进

(南京大学物理系, 南京, 210093)

谈苏庆

(南京师范大学物理系, 南京, 210008)

摘要: 报道了用二元光学技术制作的二维位相型衍射光栅作为计算层析成像光谱仪中的光谱元件。对该光谱元件衍射阵列的强度分布、衍射效率以及各衍射级效率对波长的响应曲线进行了实验检测。结果表明, 实验与理论相一致。

关键词: 二元光学 二维光栅 光谱仪

Study of a binary optical element applied in computered tomography image formation spectrometer

*Yuan Hui, Zhou Jing, Tan Suqing**

(Department of Physics, Nanjing University, Nanjing, 210093)

(* Department of Physics, Nanjing Normal University, Nanjing, 210008)

Abstract: In this paper, a binary optical element is described. The element is made with binary optical technology. It can be used as a spectral element in a computered tomography image formation spectrometer. The element scatters a light beam into a 3×3 light spot array. The intensity distribution, diffraction efficiency and the relationship between diffraction efficiency and wavelength are given. The experimental results tally with the theoretical ones.

Key words: binary optics two-dimensional grating spectrometer

引 言

随着微电子工艺技术的提高, 二元光学元件的应用将越来越广泛。计算层析成像光谱仪中需使用一个二元光学元件, 要求它在 $500 \sim 750\text{nm}$ 波段范围内产生 3×3 不等强度衍射光斑阵列。根据需要, 我们从理论上设计出产生所需光斑阵列的二元光学元件和相应参数。我们对此元件进行了测试, 测量出衍射阵列的光强分布、衍射效率以及各衍射级效率对波长的响应曲线。结果表明, 实验与理论相一致, 此二元光学元件能较好地满足计算层析成像光谱仪中应用的要求。

1 基本原理

设二维透射式矩形光栅, 光栅常数为 b , 模版占空比为 $a:(b-a)$, 周期数为 N 。采用微电子工艺^[1]分别在 x, y 方向在同一基片上刻蚀, 两次刻蚀深度均为:

$$h = \lambda_0 / 2(n - 1) \quad (1)$$

式中, λ_0 为中心波长 632.8nm , $n = 1.5$ 为基片折射率。

制得的二维光栅的结构如图 1 所示。二维矩型位相光栅的透射率函数可表示为:

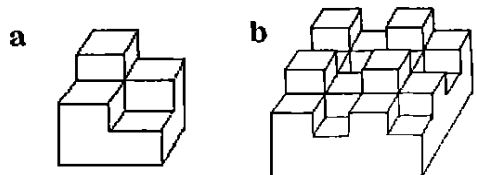


Fig. 1 a—structure chart of one unit of the two-dimensional grating b—structure chart of four units

$$f(x, y) = [(1/b) \text{comb}(x/b) (1/b) \text{comb}(y/b)] \otimes \{\exp[i(x, y)] \text{rect}(x/b) \text{rect}(y/b)\} \times \{\text{rect}[x/(Nb)] \text{rect}[y/(Nb)]\} \tag{2}$$

$$(x, y) = \begin{cases} 0 & 0 & x & a, 0 & y & a \\ - & 0 & 0 & a, a & y & b \\ - & 0 & a & x & b, 0 & y & a \\ - & 2 & 0 & a & x & b, a & y & b \end{cases} \tag{3}$$

式中, $\lambda_0 = 2h(n-1)/\dots = \lambda_0/\dots$, 为入射光波长, $\lambda_0 = 632.8\text{nm}$ 为中心波长。

根据夫琅和费衍射公式^[2], 这种位相结构的衍射函数为:

$$F(u, v) = c \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-b/2}^{b/2} [(1/b) \text{comb}(x/b) (1/b) \text{comb}(y/b)] \otimes \{\exp[i(x, y)] \text{rect}(x/b) \text{rect}(y/b)\} \times \{\text{rect}[x/(Nb)] \text{rect}[y/(Nb)]\} \exp[-i2(xu + yv)] dx dy \tag{4}$$

$$= c \times \text{comb}(bu) \text{comb}(bv) \times F(u, v) \otimes N^2 b^2 \text{sinc}(Nbu) \text{sinc}(Nbv)$$

式中, $c = (A/r_0) \exp[i(\dots - 2r_0/\dots)]$, $\text{comb}(bu) = \sum_k \delta(bu - k) = \frac{1}{b} \sum_k \delta(u - \frac{k}{b})$, $\text{comb}(bv) = \sum_m \delta(bv - m) = \frac{1}{b} \sum_m \delta(v - \frac{m}{b})$, $F(u, v) = \int_{-b/2}^{b/2} \int_{-b/2}^{b/2} \exp[i(x, y)] \exp[-i2(xu + yv)] dx dy$, \otimes 表示卷积, u 和 v 为空间频率。将 $F(u, v)$ 积出, 代入 $F(u, v)$ 的表达式中得到:

$$F(u, v) = cN^2 \sum_k \sum_m \delta(u - k/b) \delta(v - m/b) F(u, v) \otimes \text{sinc}(Nbu) \text{sinc}(Nbv) \tag{5}$$

$$= cN^2 \sum_k \sum_m F(k/b, m/b) \text{sinc}[Nb(u - k/b)] \text{sinc}[Nb(v - m/b)]$$

$$= C \sum_k \sum_m [-1/(4^2 km)] \text{sinc}[Nb(u - k/b)] \text{sinc}[Nb(v - m/b)]$$

$$\times \{[\exp(-i2ka/b) - 1][\exp(-i2ma/b) - 1]$$

$$+ \exp(-i\lambda_0) [\exp(-i2ka/b) - 1][\exp(-i2m) - \exp(-i2ma/b)]$$

$$+ \exp(-i\lambda_0) [\exp(-i2k) - \exp(-i2ka/b)][\exp(-i2ma/b) - 1]$$

$$+ \exp(-i2\lambda_0) [\exp(-i2k) - \exp(-i2ka/b)][\exp(-i2m) - \exp(-i2ma/b)]\}$$

式中, $C = N^2 b^2 c$, $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots, m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$ 。

因此, 光栅衍射阵列的 $(\pm 1, \pm 1)$ 级, 即 $k = \pm 1, m = \pm 1$ 时的衍射效率为:

$$\eta_{\pm 1, \pm 1} = |F(\pm 1, \pm 1)/C|^2 = \text{sinc}^2[N(bu \pm 1)] \text{sinc}^2[N(bv \pm 1)] \times [2 - 2\cos(2a/b)]^2 |\exp(-i\lambda_0) - 1|^4 / (4^2)^2$$

设光栅常数 $b = 20\mu\text{m}$, 周期数 $N = 750$ 。在计算层析成像光谱仪中, 要求在中心波长 λ_0 入射时产生的 3×3 阵列的光强分布为 $I(\pm 1, \pm 1) > I(0, \pm 1)$, $I(\pm 1, 0) > I(0, 0)$; 边缘波长时各级衍射光斑强度大致相当。根据要求, 通过计算机优化数据确定占空比为 7/13。此时, 得到各级衍射光的 η 响应曲线, 如图 2 所示。实线为 $(0, 0)$ 级, 虚线为 $(0, \pm 1)$ 和 $(\pm 1, 0)$ 级, 点画线为 $(\pm 1, \pm 1)$ 级, 波长单位为 μm 。

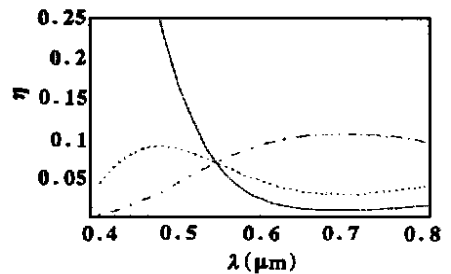


Fig. 2 Curve of relationship between diffraction efficiency and wavelength in theory

当入射波长 $\lambda = 632.8\text{nm}$ 时,可计算出 $(\pm 1, \pm 1)$ 级及其它各级的衍射效率的近似值,如表 1 所示。

diffraction order	$(\pm 1, \pm 1)$	$(0, \pm 1)$	$(\pm 1, 0)$	$(0, 0)$	total efficiency
diffraction efficiency	11 %	3 %	3 %	1 %	57 %

2 实验与结果

2.1 点阵光强分布和总效率的测量

在中心波长 $\lambda_0 = 632.8\text{nm}$ 时,测量光路如图 3 所示。

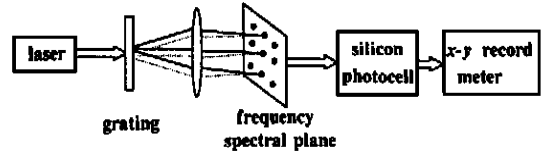


Fig. 3 Measuring diagram of intensity distribution and total efficiency when $\lambda = 632.8\text{nm}$

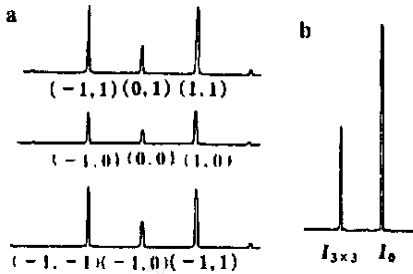


Fig. 4 a-intensity distribution curve of 3×3 spot array b-schematic diagram of total efficiency

测量各衍射点的光强分布:在频谱面用加小孔的硅光电池对每一排阵列点扫描,用 $x-y$ 记录仪得到光斑阵列的强度分布曲线如图 4a 所示,与理论结果基本相符。

测量 3×3 阵列的总效率:如图 3 所示,不放光栅时,测出总光强 I_0 ;放光栅时,在频谱面放相应孔让 3×3 阵列透过测其总光强 $I_{3 \times 3}$ 。图 4b 所示为记录仪所记录的强度曲线, $I_{3 \times 3}$ 约为 $0.5 I_0$ 。结果表明,元件产生的 3×3 阵列总效率约为 50 %。

2.2 各衍射点效率与波长的响应曲线

图 5 为测量光路图。不放样品时,测光电倍增管和单色仪的共同响应曲线,得到 $I_0(\lambda)$;放入样品时,将光电倍增管置于 $(0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1)$ 位置分别测量 $I_{mn}(\lambda)$,波长范围为 $500 \sim 750\text{nm}$,步长为

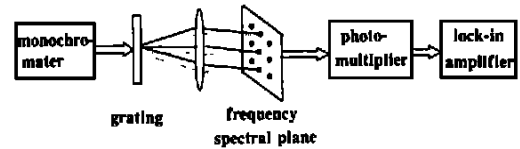


Fig. 5 Measuring diagram of diffraction efficiency at different wavelength

10nm 。效率 $\eta_{mn}(\lambda) = I_{mn}(\lambda) / I_0(\lambda)$,测量结果用计算机进行曲线拟合,如图 6 所示为各点的 $\eta \sim \lambda$ 响应曲线。

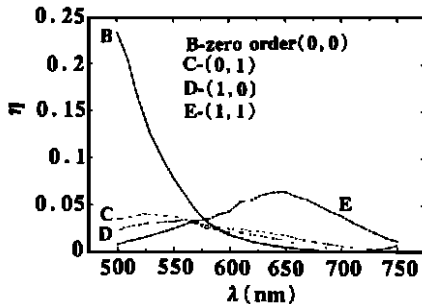


Fig. 6 Curve of relationship between diffraction efficiency and wavelength in experiment

3 讨论

从测试曲线可以看出,在中心波长 632.8nm 处, 3×3 阵列的总衍射效率约为 50 %, 3×3 阵列光强分布 $I(\pm 1, \pm 1) > I(\pm 1, 0), I(0, \pm 1) > I(0, 0)$ 。在 $500 \sim 750\text{nm}$ 的波段范围内,在边缘波长 $500 \sim 550\text{nm}$ 附近, 0 级光强较大;在 $700 \sim 750\text{nm}$ 附近, ± 1 级光强与 0 级大致相当。实验结果与理论曲线基本相符,其偏差主要来源于二元光学元件的刻蚀深度未达到 $0.63\mu\text{m}$ 的要求,造成 $500 \sim 550\text{nm}$ 内 0 级光偏大,而 $(\pm 1, \pm 1)$ 级很小。总的来说,工艺上还是能满足设计要求的。

2.5 Gbit/s 交叉增益型全光波长转换的实验研究 *

张新亮 孙军强 徐文超 李 猛 刘德明 黄德修

(华中科技大学光电子工程系, 武汉, 430074)

龚 威 易河清

(武汉邮电科学研究院, 武汉, 430074)

摘要: 利用自行研制的半导体光放大器对交叉增益型波长转换器进行了实验研究。实现了速率为 2.5 Gbit/s 的 1549.8nm 到 1562.6nm 波长上转换。比较了不同调制格式、不同泵浦功率条件下的转换输出功率、消光比和噪声特性,并对实验的结果作了解释。

关键词: 全光波长转换 交叉增益调制 半导体光放大器 平均泵浦功率

Experimental study on 2.5 Gbit/s all optical wavelength conversion based on cross gain modulation

Zhang Xinliang, Sun Junqiang, Xu Wenchao, Li Meng, Liu Deming, Huang Dexiu

(Department of Optoelectronics, HUST, Wuhan, 430074)

Gong Wei, Yi Heqing

(Wuhan Institute of Posts and Telecommunications, Wuhan, 430074)

Abstract: With the help of the semiconductor optical amplifier developed by ourselves, 2.5 Gbits/s all optical wavelength conversion based on cross gain modulation is studied. Wavelength up conversion happened in the range of 1549.8nm and 1562.6nm. Influence of modulation format and pumping power on conversion efficiency, extinction ratio and noise characteristics are also studied. The experimental results are illustrated in detail.

Key words: all optical wavelength conversion cross gain modulation semiconductor optical amplifier average pump power

引 言

全光波长转换器能重复利用波长、避免网络阻塞、构成全光路由和实现色散补偿,将会成为全光网络中的关键器件。基于半导体光放大器的波长转换器有交叉增益型、交叉相位型和

* 国家高技术发展计划、湖北省自然科学基金资助。

参 考 文 献

- 1 周 进,高文琦,黄信凡, *et al.* 中国激光, 1995; A22(2): 123 ~ 125
- 2 顾德门 J. W. 傅里叶光学导论. 北京: 科学出版社, 1976: 64 ~ 80

作者简介: 袁 惠, 女, 1977 年 12 月出生。研究生。现从事光学方面的研究工作。