

适于光交换模块光窗分布的 16×16 非等间距位相计算全息光栅*

罗风光 曹明翠 李洪谱 万安君 徐 军 李再光

(华中理工大学激光技术国家重点实验室 武汉 430074)

提要 根据光交换网络中光逻辑 FET-SEED 灵巧像元器件光窗分布的要求,设计制作了一种具有非等间距光点列阵的位相计算全息光栅,采用波长为 $0.85 \mu\text{m}$ 的半导体激光器作泵浦光源,光点列阵数为 16×16 ,组内光点间距与组间光点间距之比为 1.4,光强抑制比小于 3%。

关键词 位相计算全息光栅,光交换,光点列阵

1 引 言

近年来,随着光计算、光互连、光交换技术研究的不断深入,尤其是“信息高速公路”的发展和需要,对光互连网络及其光学实现方法提出了更高的要求^[1-3]。位相计算全息光栅是光互连网络中的一种重要的光学分束元件,可作为光互连网络的信号载体,实现大容量、高密度信息的并行传输,并可给光逻辑器件提供泵浦光功率,完成特定的互连函数的功能^[4,5]。由于光互连网络中的光逻辑器件 FET-SEED 灵巧像元器件的光窗呈非等间距分布^[6],这就要求提供光泵浦功率的光点列阵也呈非等间距分布,以与之匹配,完成相应的逻辑功能。但是一般的位相计算全息光栅的设计方法只能产生具有奇数等间距分布的光点列阵,用这样的光栅作光泵浦源,必然有部分光束是多余的,不仅造成光能损耗,而且由于多余光束对信号光束会造成干扰,必需在光逻辑器件上制作专门的窗口将多余光束吸收掉,从而增加了光逻辑器件设计的复杂性。为此,我们采用了一种综合优化设计方法,对具有非等间距光点列阵的位相计算全息光栅进行优化设计,并成功研制出 16×16 非等间距光点列阵的位相计算全息光栅,光点间距之比 1.4,与光逻辑 FET-SEED 灵巧像元器件窗口分布完成匹配,满足了光交换模块的实用要求。

2 光交换模块中光逻辑 FET-SEED 灵巧像元器件窗口分布

FET-SEED(灵巧像元器件 the field effect transistor-self electro-optic effect device)是光交换网络中的一种重要光逻辑器件,它具有光探测、逻辑处理和光信号调制输出功能。为了完成这些功能,FET-SEED 灵巧像元器件的每个像元上有 6 个光输入、输出窗口,其窗口分布如图 1 所示。其中 A, A', B, B' 为光信号输入窗口, C, C' 为泵浦光窗口。输入的信号光经 FET-

* 国家“863”高技术计划、国防科工委预研基金资助项目。

SEED 灵巧像元器件的输入窗口转变为电信号处理后, 根据光交换控制指令的要求, 选择调制 C, C' 窗口泵浦光的输出, 并送到下一级, 完成光交换功能。从图 1 可以看出, 每个像元上有一对泵浦光窗口, 从整个列阵来看, C, C' 窗口的间距在横向呈均匀分布, 但在纵向则呈非均匀间距分布。各像元内的窗口间距与像元间的窗口间距之比为 $1:4$, 为了给这些窗口同时提供泵浦光源, 减少光能损耗, 就必需设计制作一种与 FET-SEED 灵巧像元器件窗口分布完全一致的具有非等间距光点列阵的光栅分束器件, 以实现特定的交换光功能。

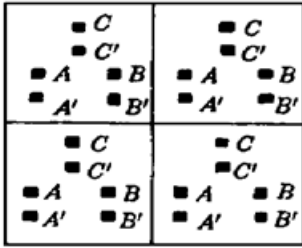


图 1 FET-SEED 灵巧像元器件窗口分布

Fig. 1 Schematic of the distribution of the light windows for FET-SEED smart pixel arrays

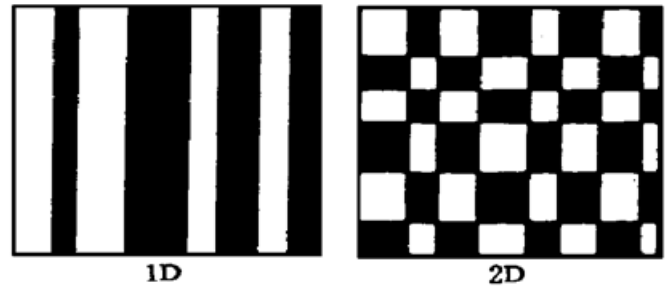


图 2 位相计算全息光栅一维或二维周期结构示意图

Fig. 2 Schematic of the periodic construction with one and two demensions for the grating

3 非等间距位相计算全息光栅结构设计

位相计算全息光栅是一种通过计算机优化设计形成的具有不等间距、周期重复结构的二元位相傅里叶型分束器件, 其一维或二维周期结构如图 2 所示。当平行入射的激光束经过位相计算全息光栅时, 通过光栅结构的周期性变化, 对入射的单色平面波进行空间位相调制, 经傅里叶透镜变换, 在后焦面成像产生夫朗和费衍射图形, 形成一维或二维等光强的分束光点列阵。位相计算全息光栅的设计方法由于 0 级衍射级次的存在, 一般是产生具有奇数点阵的等间距、等光强的光束列阵^[7,8], 要产生具有偶数点阵, 且为非均匀间距分布的光栅分束器件, 就必须找到一种更有效的光栅设计方法。为此, 我们在分析了光栅结构的基础上, 采用了一种有效的综合优化设计方法, 该方法根据光交换网络中光逻辑 FET-SEED 灵巧像元列阵器件光窗分布对非等间距光点列阵的要求, 确定出组内光点间距与组间光点间距之比, 使所需衍射级次的光点光强相等, 其余衍射级次的光点光强抑制到最小, 并使光栅的衍射效率最高。光栅的衍射效率可表示为

$$\eta = \sum I_m \quad (1)$$

其中 I_m 为所需各衍射级次的相对光点光强, 且有 $\sum_{m=-\infty}^{+\infty} I_m = 1$ 。我们对 16×16 非等间距光点列阵的位相计算全息光栅进行了优化设计, 其中非等间距方向的光点分布, 其组内光点间距与组间光点间距之比为 $1:4$, 各衍射级次的相对光强分布如表 1 所示。优化设计的结果为一维衍射效率达 76%, 所需衍射级次为 $\pm 3, \pm 5, \pm 11, \pm 13, \pm 19, \pm 21, \pm 27, \pm 29$ 的光点光强的不均匀性小于 2%, 抑制级次的光点光强不到所需衍射级次光点光强的 3%。

表 1 各衍射级次的相对光强分布

Table 1 The relative light intensity distribution of the diffractive orders $I(m) = I(-m)$

$I(0) = 0.460432E-11$	$I(1) = 0.884979E-03$	$I(2) = 0.505342E-11$	$I(3) = 0.472761E-01$
$I(4) = 0.655561E-11$	$I(5) = 0.472892E-01$	$I(6) = 0.757346E-11$	$I(7) = 0.745428E-03$
$I(8) = 0.916363E-11$	$I(9) = 0.643563E-03$	$I(10) = 0.109247E-10$	$I(11) = 0.473495E-01$
$I(12) = 0.697037E-11$	$I(13) = 0.473038E-01$	$I(14) = 0.461672E-11$	$I(15) = 0.429599E-03$
$I(16) = 0.266250E-11$	$I(17) = 0.738289E-03$	$I(18) = 0.599670E-12$	$I(19) = 0.472883E-01$
$I(20) = 0.137237E-12$	$I(21) = 0.472732E-01$	$I(22) = 0.222946E-12$	$I(23) = 0.609884E-03$
$I(24) = 0.380435E-12$	$I(25) = 0.278418E-03$	$I(26) = 0.671381E-13$	$I(27) = 0.472502E-01$
$I(28) = 0.381895E-12$	$I(29) = 0.473330E-01$		

4 实验和结果

位相计算全息光栅是一种具有表面位相浮雕结构图形的光栅,对透射型的位相计算全息光栅,可以采用大规模集成电路工艺的光刻技术和反应离子刻蚀技术,制作光栅的基片材料一般为透光性能好的光学玻璃平面基片,经双面严格抛光,以保证其光洁度和平行度。光栅图形复制到基片上的光学薄膜,如 Si_3N_4 膜、 SiO_2 膜上,也可直接在玻璃基片上进行位相刻蚀(或化学腐蚀),我们在分析比较了几种制作方法的基础上,采用了在石英玻璃基片上直接刻蚀光栅图形的方法,并较好地解决了用反应离子刻蚀设备难于在石英玻璃基片上刻蚀较深厚度槽沟(1000 nm 左右)及刻蚀深度的控制问题。

首先将计算机优化设计出的光栅结构数据,根据光栅分束点阵各光束之间的间距 d_s ,系统光源的波长 λ ,及所用傅里叶透镜的焦距 f ,计算出光栅的周期常数 P

$$P = \frac{2f}{d_s} \quad (2)$$

由此可确定出实际光栅周期中各位相跳变点的坐标值,通过计算机辅助设计、电子束曝光、初缩、精缩及分布重复等过程,制作出具有光栅表面图形结构的光栅母版。对石英玻璃基片进行严格清洗烘干后,采用 AZ5214 光刻胶进行匀胶,匀胶速率的选取要保证胶膜厚度适中,以保证在反应离子刻蚀时既能有效地屏蔽光栅图形,又能保证刻蚀线条的精度。在光栅母版的屏蔽下对匀胶后的石英玻璃基片进行紫外曝光、显影、坚膜处理,使光栅图形复制到石英玻璃基片的胶膜上,即可进行反应离子刻蚀,在石英玻璃基片上形成位相浮雕光栅结构。

由于石英玻璃质地坚硬,用反应离子刻蚀设备对石英玻璃基片进行较深厚度的窄槽精确刻蚀变得较为困难,必须严格控制气体组分、气体流量、刻蚀时间、刻蚀速率等参数以保证刻蚀的精度和具有良好的工艺重复性。经过反复实验,我们采用了 $\text{CHF}_3 + \text{O}_2$ 刻蚀气体,RF 功率为 230 W,工作气压为 3.99 Pa,刻蚀速率约 13 nm/min,刻蚀深度用 ALPHA-STEP200 表面台阶测试仪进行测试,及时调整刻蚀时间,以满足位相光栅对深度的要求。位相刻蚀深度可表示为

$$h = \frac{\lambda}{2(n-1)} \quad (3)$$

其中 λ 为入射到光栅上的激光源的波长, n 为光栅基片材料的折射率。

经过反应离子刻蚀设备刻蚀好的石英玻璃基片,具有位相计算全息光栅表面图形和位相深度分布结构,经过去除表面残留的保护胶膜及清洗后,即制成所需的位相计算全息光栅,可

以进行性能测试和使用。

采用波长为 $0.85 \mu\text{m}$ 的半导体激光器 L 作泵浦光源, 经透镜 f 和楔形棱镜 C 准直整形后照射到 16×16 非等间距光点列阵的位相计算全息光栅 G 上, 其测试光路图如图 3 所示, 经焦距为 25 mm 的傅里叶透镜 F 变换后, 在后焦面 P 成像, 形成 16×16 非等间距光点分布, 其分束光点列阵照片如图 4 所示, 在等间距方向分布的光点间距为 $400 \mu\text{m}$, 在非等间距方向的光点分布组内光点间距为 $100 \mu\text{m}$, 组间光点间距为 $400 \mu\text{m}$, 两者之比为 $1:4$, 与光逻辑 FET-SEED 灵巧像元器件窗口分布完全匹配。图 5 为一列 16×16 非等间距光点相对光强分布的实测结果, 测试结果表明, 该光栅器件的实际光强不均匀性小于 12% , 高于理论设计值, 这主要是由于在光刻和反应离子刻蚀中存在刻线误差和刻蚀深度误差, 通过改进工艺条件, 降低制作误差, 可使实际光栅器件的光强不均匀性得到改进。

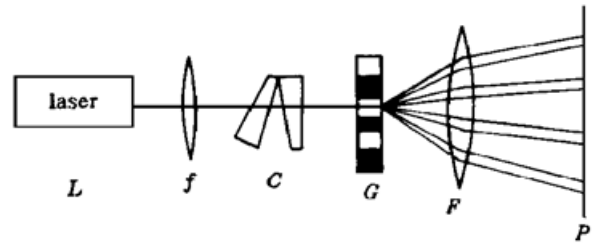


图 3 位相计算全息光栅测试光路图

Fig. 3 The measurement optical setup of the grating splitter

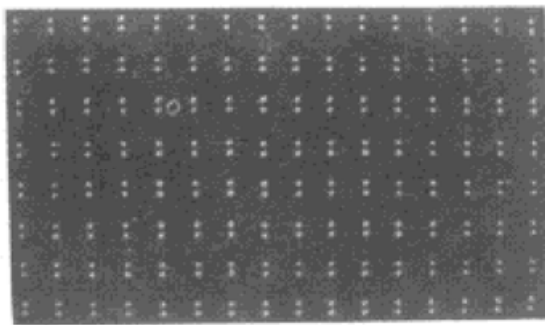


图 4 16×16 非等间距分束光点列阵照片

Fig. 4 The photograph of 16×16 spot arrays with non-equal distance

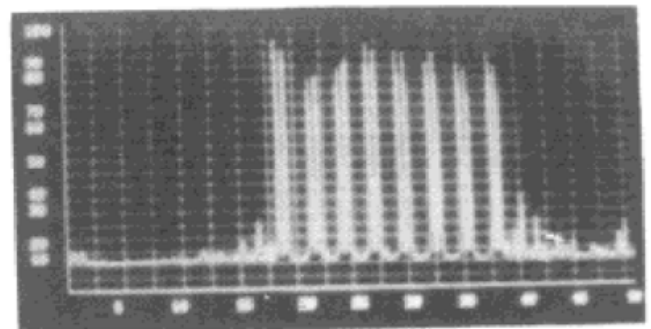


图 5 相对光强分布的实测结果

Fig. 5 The measured result of the relative light intensity distribution

参 考 文 献

- 1 L. M. F. Chirovsky, A. L. Lentinel, K. W. Goossen *et al.*. A high speed optoelectronic chip with 4352 optical inputs/outputs for a 256×256 ATM switching fabric. Kunio Tada, Proceeding of Photonics in Switching '96, Sendai, Japan: IEICE, 1996, 70~ 71
- 2 Luo Fengguang, Xi Jun, Cao Mingcui *et al.*. Optical implementation of full-permutation non-blocking double omega optical interconnection network in optical computing. *Chinese Journal of Lasers* (中国激光), 1994, **A21**(3): 220~ 224 (in Chinese)
- 3 R. L. Morrison, S. L. Walker, T. J. Cloonan. Beam array generation and holographic interconnections in a free-space optical switching network. *Appl. Opt.*, 1993, **32**(14): 2512~ 2518
- 4 Luo Fengguang, Cao Mingcui, Li Hongpu *et al.*. Optical implementation of crossover an optical interconnect network using a Dammann grating with 65×65 spot arrays. Institute of Physics, U. K., Inst. Phys. Conf. Ser., No. 139: Part 2, Opt. Comput. Int. Conf., Edinburgh, U. K.: IOP Publishing Ltd, 1994, 255~ 258
- 5 Luo Fengguang, Cao Mingcui, Li Hongpu *et al.*. Dammann beam grating of 65×65 spot array. *High Technology Letters* (高技术通讯), 1994, **6**: 1~ 4 (in Chinese)
- 6 F. B. McCormick, T. J. Cloonan, A. L. Lentine *et al.*. Five-stage free-space optical switching network with field-effect transistor self-electro-optic-effect-device smart-pixel arrays. *Appl. Opt.*, 1994, **33**(8): 1601~ 1617
- 7 H. Dammann, K. Görtier. High-efficiency in-line multiple imaging by means of multiple phase holograms. *Opt. Commun.*, 1971, **3**(5): 312~ 315

- 8 Luo Fengguang, Cao Mingcui, Li Hongpu. Fabrication and research of large array two-dimensional Damman grating. *Semiconductor Optoelectronics* (半导体光电), 1994, **15**(1) : 55~ 58 (in Chinese)

Non-equal Distance Phase Computer-generated Grating with 16×16 Spot Arrays Applied to Light Window Distribution in Optical Switching Package

Luo Fengguang Cao Mingcui Li Hongpu Wan Anjun Xu Jun Li Zaiguang
(The National Lab. of Laser Technology, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074)

Abstract A kind of phase computer-generated grating with non-equal distance spot arrays was designed and fabricated according to the needs of the window distribution of the FET-SEED smart pixel device in optical switching network. A semiconductor laser diode with wavelength of $0.85 \mu\text{m}$ was used as the pumping light source. The number of spot arrays is 16×16 with the ratio of the spot distances being 1.4. The ratio of the constrained spot light intensity to the required one was less than 3%.

Key words phase computer-generated grating, optical switching, spot arrays

中国科技论文统计与分析源期刊计量指标

电子、通讯与自动控制

期刊名称	94 年 论文数	95 年 论文数	94 和 95 年论 文被引频次	总被引 频次	96 年 论文数	96 年论文 被引频次	影 响 因 子	即 年 指 标
自动化学报	122	123	81	339	130	5	0.3306	0.0385
电子显微学报	62	99	50	115	47	4	0.3106	0.0851
机器人	62	63	37	94	65	2	0.2960	0.0308
中国激光	203	203	112	356	238	20	0.2759	0.0840
通信学报	108	105	48	173	136	5	0.2254	0.0368
固体电子学研究与进展	64	63	28	47	71	1	0.2205	0.0141
半导体学报	144	174	63	208	176	6	0.1981	0.0341
压电与声光	72	75	29	78	99	4	0.1973	0.0404
红外与毫米波学报	81	81	30	80	94	7	0.1852	0.0745
通信保密	43	42	15	27	53	1	0.1765	0.0189
.....								

摘自: 中国科技信息所《中国科技论文统计与分析》课题组 1997 年 12 月所编 国家科委中国论文统计源期刊计量指标。