

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0403-03

三维自由空间光互连系统光学设计

袁菁 罗风光 曹明翠

(华中科技大学激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

提要 研究了一种采用 Mesh 光互连网络拓扑结构的三维自由空间光互连集成模块, 根据像差要求着重对系统模块中的光收发透镜列阵进行了光学设计, 并比较了两种不同的解决方案。结果表明直接由透镜中心斜入射法, 其出射信号弥散斑为 $0.4630 \mu\text{m}$, 能更好地满足三维自由空间 Mesh 光互连网络光电子集成模块的要求。

关键词 光通信, 光互连, 光交换

中图分类号 TN929.11 **文献标识码** A

Optical Design of 3-D Free-space Optical Interconnect System

YUAN Jing LUO Feng-guang CAO Ming-cui

(State Key Lab. of Laser Technology, Huazhong University of Sci. & Tech., Wuhan 430074)

Abstract A kind of 3-D free-space optical interconnect integrated module with Mesh network topological configuration is presented in this paper. The highlight is laid on the optical design of the light transceiver lens array of the system module on the basis of the image aberrations. Two different design methods are compared. The results show that the method of slantwise incidence through the center of the lens directly has an output signal spot size of $0.4630 \mu\text{m}$. It is the better method to meet the demands of 3-D free-space optical Mesh interconnect integrated module.

Key words optical communication, optical interconnection, photonic switching

1 引言

电子计算机已由最早的只能处理数值计算发展至今在文字、图形、图像、语音、网络传输等方面的应用。CPU 多任务的处理是基于时分复用的。不可否认的是, 通过提高计算机主频来提高计算机系统性能, 难度越来越大, 而且在并行处理方面, 电子计算机更显得力不从心。特别是在小型化星载高速大容量并行处理计算机系统这样的高速、高性能系统中, 采用电互连方式存在着诸如限制系统时钟频率的进一步提高, 制约系统的输入/输出端口数目不断增加, 以及为提高系统速率和增加 I/O 端口数而产生的散热、信号延迟、封装尺寸等一系列问题^[1,2]。光互连具有的特性, 如极高的时空带宽积、极小的电磁干扰、互连密度远大于电互连、较小的互连功耗等, 使其能够较好地弥补电互连所带来的缺陷。光互连潜在的巨大优势已越来越被人们所认识。

2 Mesh 光互连原理

三维自由空间多处理芯片光电子集成光互连交换 Terabit 网络模块, 由基于宽带高速高密度 I/O 窗口的光电子 OE-VLSI 灵巧像元列阵 (SPA) 的多芯

片模块 (MCM) 集成背板、自由空间光发射和接受透镜列阵及光折回反射镜三部分组成。光发送和接收阵列之间通过透镜列阵和反射板在自由空间将信号光束按一定的互连方式折回到多芯片模块集成背板上, 可实现芯片与芯片间的双向互连通信^[2]。用于单指令多数据处理系统中的静态互连网络系统的 Mesh 网络的拓扑结构, 其具有互连密度高、各数据通道同步性好、光学硬件小、光学系统简单、体积小、便于与主系统连机等优点^[2]。利用光互连可在三维自由空间实现对一系列相互平行的二维逻辑器件列阵之间整体的立体互连, 避免了电子学超大规模集成电路互连对芯片引脚数目的限制^[2]。 $N = 16$ 的 Mesh 网络连接原理如图 1 所示。静态 Mesh 互连网络, 因为其在 N 个 PE 的互连中, 每个 PE 可以向四个相邻的 PE 直接发送数据, 所以也常称为四相邻连接网络。

3 光学设计

设计思想: 首先, 将该光学系统中的光收发透镜等效为一单薄透镜, 利用几何光学理论, 推导出透镜焦距 f 的理论值及系统结构尺寸; 然后, 用光线追

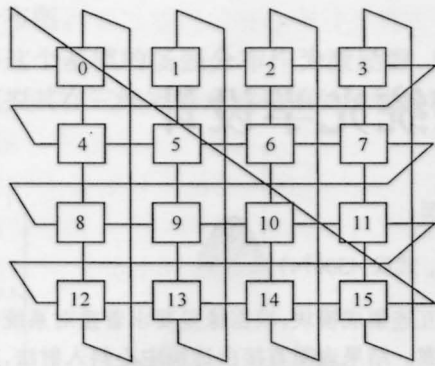


图1 Mesh互连网络原理图

Fig.1 Principal diagram of Mesh interconnect network

迹的方法设计满足系统总焦距、像方后截距、像差等要求的收发透镜系统。

3.1 原理光路

将系统的光路实现平面化,将光收发透镜等效为一单薄透镜,则如图2所示。通过对其进行分析,可以确定系统焦距,并找出系统中各器件的位置关系,以此来决定系统的结构尺寸。系统中所用垂直腔面发射激光器(VCSEL)的工作波长为 $0.85 \mu\text{m}$,不带有准直微透镜,发出的光束具有 10° 的发散角,因此,光发射和接收透镜阵列不光要建立信号光传输通道,还要完成将初始信号光准直的作用。信号光束经过二元位相光栅(BPG)分束之后,产生的新的信号光束实际上是原信号光束经过 BPG 之后的 ± 1 级衍射光束,即 $m = \pm 1$ 。最终确定焦距参数为 $f = 11.34 \text{ mm}$ 。

3.2 自由空间光互连的设计考虑

光通信系统中,到达目的光探测器的光强大小和出射光斑尺寸,以及光束的发散情况是影响光通信系统性能的重要指标^[4]。为了满足小型化的要

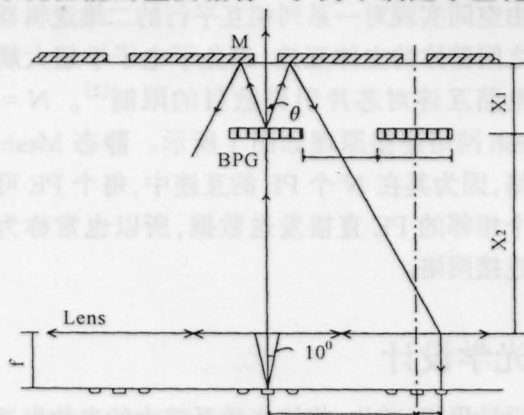


图2 系统光路平面效果图

Fig.2 Cross section schematic of system optical path

求,使系统结构紧凑,所有参数均越小越好,而由于目前分束器件的制作工艺水平的限制,确定各参数值时,取最接近工艺极限的那组数据。为了达到最好的互连效果,我们改变经反射板反射后的信号光束入射透镜的位置,设计了两种方案:

方案一,在透镜前焦点处设置一孔径光阑阵列,使得经反射板反射后的信号光束通过透镜前焦点入射,经透镜阵列出射后,垂直入射到探测器阵列上;

方案二,孔径光阑与透镜框重合,使信号光束直接由透镜中心斜入射,不改变角度出射至探测器阵列上。这两种不同方案使系统结构不同,探测器接收效果也不同,各有长短。

3.3 光学设计

采用光线追迹的方法对系统中所需的透镜阵列进行了光学设计。该透镜系统的主要的校正目标是轴上点的球差、轴外点的畸变,特别是轴外点的弥散斑。把系统弥散斑大小作为衡量像差的最终标准,同时坚持系统的焦距必须保持不变的原则。在像差校正过程中,通过分析像差曲线,采用调整结构参数,换玻璃牌号等方法,使设计的透镜满足要求。由于该透镜接近于微透镜,对于透镜的技术要求,均按最高等级的标准^[5]。

对两种方案的计算结果从以下几个方面进行比较:

1) 从成像质量的角度考虑。两种方案孔径光阑的位置不同,入射位置不同,对于轴上点的像差没有影响,但是却导致其产生的轴外点弥散斑大小差异很大。当轴外点发来的平行光束充满入射光瞳入射时,相同的条件下对应的轴外点弥散斑大小,方案一(0.2086)为方案二(-0.00046)的400多倍,根本无法满足要求。具体计算结果比较列于表1。

2) 从系统的结构尺寸考虑。方案二使经反射板反射的信号光束通过透镜中心入射,使系统的整体尺寸较之方案一的过前焦点入射减小了10%左右,使系统的整体结构更加紧凑,完全满足系统小型化的要求。

3) 从系统调试难易程度考虑。方案一需在前焦点处设置一个孔径光阑阵列,其加工精度要求高,实现困难。而且在调试阶段孔径光阑与对应的透镜的同轴同心,缺乏可靠的手段来保证,会带来一定的误差,影响整个系统工作的准确性和可靠性。而方案二孔径光阑与透镜框重合,结构简单,调试容易,不仅避免了复杂的孔径光阑阵列的加工,而且也避免了孔径光阑与透镜的离心离轴可能带来的误差。

4) 从接收效果的角度考虑。方案二的斜入射 不如方案一的正入射使得探测器接收得更加准确。

表 1 两种方案主要计算结果比较

Table 1 The main computing results of two methods

ω/ω_1	Design 1			Design 2		
	spherical aberration	sin aberration	distortion	spherical aberration	sin aberration	distortion
1	0.025114	0.005598	-0.89194	0.025115	0.003541	-0.13014
0.85	-0.00244	0.002095	-0.6519	-0.00244	0.002295	-0.09407
0.707	-0.01128	0.000537	-0.45491	-0.01127	0.001458	-0.06511
0.5	-0.01025	-0.00017	-0.22962	-0.01025	0.000664	-0.03257
0.3	-0.00462	-0.00015	-0.08309	-0.00462	0.000226	-0.01173
0	0	0	0	0	0	0

参 考 文 献

4 结 论

提出了一种基于 Mesh 互连网络的集成光互连模块的光学构造方法。对光学系统中的透镜阵列进行了设计并比较了两种实现方案。在成像质量、系统结构尺寸、系统调试难易程度等方面方案二要优于方案一,采用方案二构成的光互连集成模块具有弥散斑小,系统紧凑、易于调试等优点,由此设计的光互连集成模块能更好地满足 Mesh 互连网络的要求。

- 1 T. Nakahara, S. Matsuo, S. Fukushima *et al.*. Performance comparison between MQW and VCSEL-based smart pixels. *Appl. Opt.*, 1996, **35**(5):860~871
- 2 李珂等. 采用量纲分析法的 MCM 互连延迟建模. 微电子学, 1998, **28**:41~44
- 3 李洪谱, 曹明翠, 徐军等. 光电混合 Mesh 互连网络的研究. 光子学报, 1997, **26**(4):109
- 4 M. R. Feldman, S. C. Esener, C. C. Guest *et al.*. Comparison between optical and electrical interconnects based on power and speed considerations. *Appl. Opt.*, 1988, **27**(9):1742~1751
- 5 《光学仪器设计手册》编辑组. 光学仪器设计手册(上、下册). 北京: 国防工业出版社, 1971

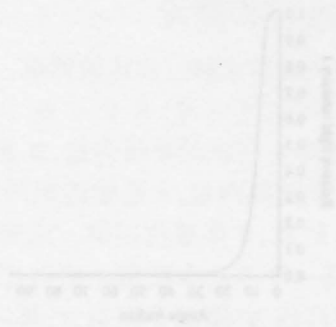


图 1 方案一的主要计算结果比较

Fig. 1 The main of comparison of design 1