

文章编号: 0253-2239(2008)02-0349-06

基于软光刻的多层光互连垂直耦合结构

刘彦婷 倪 玮 吴兴坤

(浙江大学现代光学仪器国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

摘要 设计并试制了一种新型垂直耦合光互连线路结构,可用于高速计算机内部等垂直堆叠的多层连通光互连的芯片间光信息通讯。其结构简单,且具有较小的连接损耗(可低至 0.05 dB)。对四种不同的典型波导截面(分别为 $30\ \mu\text{m}\times 30\ \mu\text{m}$, $50\ \mu\text{m}\times 50\ \mu\text{m}$, $100\ \mu\text{m}\times 100\ \mu\text{m}$, $200\ \mu\text{m}\times 200\ \mu\text{m}$),利用蒙特卡罗多光线追迹分析法对跨越 1~6 层的垂直耦合结构进行了性能分析,发现当该结构的跨越高度与横向跨越距离的比值约为 0.128 时,可实现较理想的低损耗(低于 1 dB)光传输。采用软光刻的方法制备了实验多层光互连线路,其性能测试与理论结果基本相符。

关键词 导波光学; 垂直耦合光互连; 软光刻; 光线追迹

中图分类号: TN256 文献标识码: A

A Soft-Lithography-Based Vertically Coupling Structure for Multilayered Optical Interconnection

Liu Yanting Ni Wei Wu Xingkun

(State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentations, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China)

Abstract A novel vertical coupling structure is designed for multilayered optical interconnection, regarding as one of most promising approaches for high-speed communications in next-generation computer. The layer-to-layer coupling features a simple S-shaped structure with an insertion loss as low as 0.05 dB. For four cross sections of $30\ \mu\text{m}\times 30\ \mu\text{m}$, $50\ \mu\text{m}\times 50\ \mu\text{m}$, $100\ \mu\text{m}\times 100\ \mu\text{m}$, and $200\ \mu\text{m}\times 200\ \mu\text{m}$ calculations for cross-over of up to 6 layers were performed using Monte Carlo ray tracing simulation, it was found that a low-loss coupling (less than 1 dB) can be achieved as the ratio of cross-over height to traveling distance is about 0.128. Experimental prototypes were fabricated by using soft-lithography and measurement agrees with the calculated result in general.

Key words guided-wave optics; vertically coupling interconnection; soft lithography; ray tracing

1 引 言

与电互连相比,光互连在通信带宽、等程传输、抗干扰和低能耗等方面有巨大的优势,有望彻底解决高性能计算机和超高速交换系统中普遍存在的通信瓶颈问题,实现大容量、高速率、低能耗的数据交换^[1]。

目前机器与机器之间已经实现光连接,板之间(board-to-board)的光连线也已有几种方案提出^[2,3],前沿研究方向上升至芯片之间(chip-to-chip)的光互连^[4,5],尤其是多层芯片间的光电集成型互连^[6~9]。

光电集成型多层芯片结构的优点在于,可以完全使用二维光电元器件的功能,大幅度节省空间,提高集成度,与超大规模集成电路(Very large scale integrated circuit, VLSI)和垂直腔面发射激光器(Vertical cavity surface emitting laser, VCSEL)或光电二极管阵列有效适配,符合未来的高速、大容量芯片间通信的发展方向。但是多层结构的设想也带来了新的难题,即如何在竖直堆叠的芯片间实现低损耗的光路耦合,即层与层之间的垂直耦合

收稿日期: 2007-05-28; 收到修改稿日期: 2007-10-12

基金项目: 国家自然科学基金(60477019, 60577025)资助课题。

作者简介: 刘彦婷(1983—),女,四川成都人,硕士研究生,主要从事微光学以及在光器件中的应用等方面的研究。

E-mail: rikfeng@163.com

导师简介: 吴兴坤(1961—),男,浙江海盐人,教授,博士生导师,主要从事集成波导型光通信器件应用方面的研究。

E-mail: xingkunwu@163.com

(Vertical coupling)。已经被提出的有望实现光电子线路层间耦合的解决方案有:层间直接耦合^[7],这种方案结构上相对简单,但是需要严格控制层间距离以及光学线路的分布,且光信号之间的串扰较大;改进的方案是借助一种多模干涉耦合器^[8]结构来实现层间垂直耦合,提高了对器件尺寸变化的容忍度,能在较短的跨越距离上实现较高的跨越高度,但是旋转镀膜的制备工艺较复杂,耦合效率较低。

利用掩模位移,反应离子束蚀刻实现的直线向上分叉结构^[9],由于光线直接经过一个斜面进行反射,导致分叉连接处的损耗较大。本文提出了一种新型的光互连线路垂直耦合结构。采用一段特殊形状的 S 形多模波导,光线通过弯曲的波导进行缓慢渐变的传输,连接处损耗较低。采用软光刻技术进行了实物制备,在制作工艺上也比掩模位移等方法简单,不需要考虑制作过程中的对准误差^[8]等,从高聚物转印上也充分发挥了软光刻三维转印的优势。该结构可用来连接位于不同芯片层的光波导结构,使光束从一个芯片层沿该波导线路到达垂直方向上相邻或不相邻的另一个芯片层,从而实现不同层上芯片之间的光信息传输。

2 层间耦合线路模型设计

在设计多层光互连线路中的层与层之间垂直耦合结构时,如图 1 所示,有两个参量是最重要的制约条件。一是线路的横向跨越距离(Propagation distance) L 。要使光由原本的横向传播转为纵向传播,如果采取如放置 45° 平面反射镜或者斜面等方法使光路直接偏转 90° 会产生较大的能量损耗从而引起信号衰减。另外从结构上较难实现集成模制。因此较好的方式是将光束束缚在一个弯曲向上的弧形线路内,随线路的导向在经过一定的横向距离后实现垂直方向上的跨越。但是如果横向传输距离过大会降低光电子集成线路的密度。所以希望横向跨距可以限制在较小的范围内,以利于紧凑的叠片结构。二是线路的纵向跨越高度 H 。纵向跨越距离越大,

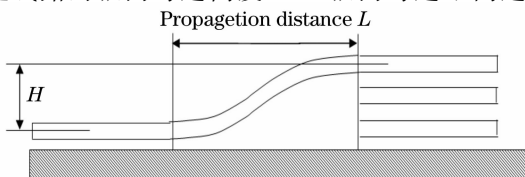


图 1 光互连线路中的层间垂直耦合示意图

Fig. 1 Schematic of the vertically coupled optical interconnector

表示线路可以在垂直方向上可连接的层与层之间的距离越远,即光信号能在不相邻的、甚至中间相隔多层的两芯片之间传输,以实现在底面积相同的空间范围内,堆叠更多层的互连线路,实现高的空间集成度。也就是说, H/L 值越大,越利于紧凑的多层垂直叠片结构。

一个较容易实现软光刻转印的结构是 S 形波导,该波导中心曲线由两段完全相同且成中心对称的弧构成,线路两端与芯片层的直波导相接处呈相切关系,中点是曲线的拐点。从图 1 可看到,以三层堆叠的光学互连线路为例,中间的 S 形弯曲部分即所设计的光互连垂直耦合线路。通过它和两端的直波导承接第一层和第三层芯片之间所需的光信息传输。通过设定不同的跨越高度以及相应的跨越距离,能使光传输到不同层次的芯片,从而实现了多层芯片层之间的光信息传输。

该设计结构简单,可方便地通过软光刻工艺印制在 S 形高聚物基底上,并且可同时使用多条线路,实现不同方向、不同芯片层之间的信息高速并行传输。如图 2 所示,第 1 层的基板上四条平行的直波导可以提供层内所需的光传输通道,第 2 层中的直波导和第 3 层中的直波导通过 S 形弯曲波导进行了跨越连接,四条并列的线路满足了层间平行通信的需要。同样,第 3 层中的直波导和第 4 层中直波导也通过 S 形弯曲波导实现了跨越连接。层间跨越的 S 形弯曲光波导结构不会影响其他用于层内通信的光波导结构,从而降低了光信息串扰,这对多层芯片层之间的光信息传输是比较有利的。

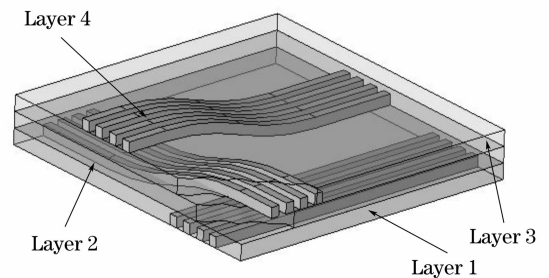


图 2 位于不同层上的多条互连线路在不同方向上实现层与层间的并行传输

Fig. 2 Several interconnecting circuits on different layers accomplish parallel transmission in different orientations

3 数值模拟

3.1 跨越单层

利用 ZEMAX[®] 软件,采用蒙特卡罗式光线追

迹法(Ray tracing)对该线路的两个基本参量跨越距离 L 和跨越高度 H 进行数值模拟分析。相邻芯片层之间的间隔设定为 $50\ \mu\text{m}$, 为实现一层跨越所需的垂直跨越高度, 需要匹配最佳的横向跨越距离, 以实现低损耗的相邻层间垂直耦合。图 3 显示了一个典型的分析最佳跨越距离的光线追迹图。采用的矩形波导截面为 $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$, 芯/包层折射率为 $1.52/1.50$ (低损耗聚氨酯丙烯酸甲脂光学树脂典型值)。为实现上述一层跨越, 跨越高度 H 设置为 $150\ \mu\text{m}$ 。在图 3(a) 中, 线路的横向跨越距离 L 仅为 $1.5\ \text{mm}$, 由图中可以看出, 有较大部分光线经过该线路时在连接处折射到外部, 能量大幅衰减, 此时的传输损耗高达 $9.24\ \text{dB}$ 。在图 3(b) 中, 跨越高度 H 保持不变, 横向跨越距离 L 增加到 $2.1\ \text{mm}$, 此时约有一半的光线折射到线路外部, 传输损耗降低至 $3.20\ \text{dB}$ 。图 3(c) 中, 跨越高度 H 仍保持一致, 而横向跨越距离增加到 $3\ \text{mm}$, 图中显示几乎没有光线折射到线路外部, 此时得到的传输损耗仅为 $0.05\ \text{dB}$ 。考虑到集成密度的需要, 为实现低损耗 (小于 $0.2\ \text{dB}$) 跨越, 跨距 L 至少约为 $2.6\ \text{mm}$ 。

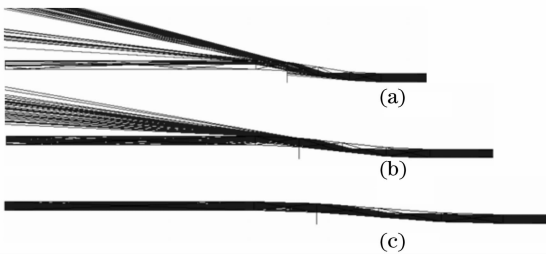


图 3 波导截面为 $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$, 跨越高度为 $0.15\ \text{mm}$, 横向跨越距离为 (a) $1.5\ \text{mm}$, (b) $2.1\ \text{mm}$, (c) $3\ \text{mm}$ 的光线追迹图

Fig. 3 Image of ray tracing. The cross-section of the waveguide is $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$ and the cross-over height is $0.15\ \text{mm}$ in this case. The propagation distance is (a) $1.5\ \text{mm}$, (b) $2.1\ \text{mm}$, (c) $3\ \text{mm}$

从图 3 中可以得到, 对于给定的跨越高度 H , L 越长, 传输损耗值越小。图 4 给出了 S 形垂直耦合线路结构在连接垂直方向两相邻层时, 基于四种不同截面的多模波导线路 (分别为 $30\ \mu\text{m} \times 30\ \mu\text{m}$, $50\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$, $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$, $200\ \mu\text{m} \times 200\ \mu\text{m}$), 其横向跨距与传输损耗之间的关系。

仍以波导截面为 $100\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m}$ 的线路结构为例, 观察图中的蓝色三角符号曲线。当横向跨距 L 从 $1.7\ \text{mm}$ 增加到 $2.6\ \text{mm}$ 时, 传输损耗以很大的斜率从 $5\ \text{dB}$ 迅速下降到 $0.2\ \text{dB}$, 而当 L 继续从 $2.6\ \text{mm}$ 增加到 $5.5\ \text{mm}$ 时, 曲线近似为一条直线,

损耗值变化很小。

波导截面为 $200\ \mu\text{m} \times 200\ \mu\text{m}$ 的曲线, 即图中标有星号的曲线, 当横向跨距 L 从 $2.8\ \text{mm}$ 增加到 $4.8\ \text{mm}$ 时, 传输损耗从 $5\ \text{dB}$ 急剧降至 $0.2\ \text{dB}$, 而当 L 继续增加到 $6\ \text{mm}$ 时, 损耗值几乎没有变化。

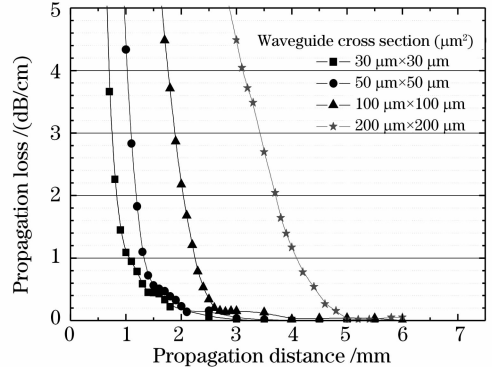


图 4 当跨越高度确定时, 传输损耗是横向跨距的函数
Fig. 4 Propagation loss as a function of propagation distance for a given cross-over height

波导截面为 $30\ \mu\text{m} \times 30\ \mu\text{m}$ 和 $50\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$ 的曲线表现出的特性和上述两条曲线基本相同, 传输损耗值随着横向跨距的增加急剧下降, 在到达一定的点后, 即使 L 继续增加, 但传输损耗基本保持平稳。由此可见, 横向跨距 L 存在一个临界值 L_0 , 当 $L < L_0$ 时, 损耗值随 L 增加而下降, 当 $L > L_0$ 时, 损耗值基本保持稳定, 不再随 L 变化。因此, 在实际的器件制作中, 可以采用这个 L_0 值作为 S 形垂直耦合线路的最佳匹配横向尺寸, 这样就保证了在较小的横向跨越距离下实现低损耗相邻层间耦合传输。

3.2 跨越多层的研究

当线路仅用于连接位于两相邻层的芯片时, 由于跨越高度固定, 只需要确定适当的横向跨越距离即 L 值, 便可以实现理想的低损耗传输。但当线路用于连接位于不相邻层的两芯片时, 跨越高度 H 的增加会引起传输损耗变大, 此时可增加相应的 L 值, 使损耗降低。因此, 在进行跨越多层时, 应该选取适当的 H/L 值, 一方面使得传输损耗比较低, 另一方面, 使得线路结构的尺寸被控制在可以接受的范围之内。

对于上述四种不同截面的多模波导, 研究了 S 形弯曲波导结构用于多层跨越的情况, 图 5 显示了在跨越 $1 \sim 6$ 层 (相邻层间隔仍为 $50\ \mu\text{m}$), 且限制损耗为 $1\ \text{dB}$ 时, 跨越高度 H 与横向跨距 L 的关系。

以波导截面为 $30\ \mu\text{m} \times 30\ \mu\text{m}$ 所对应的黑色方

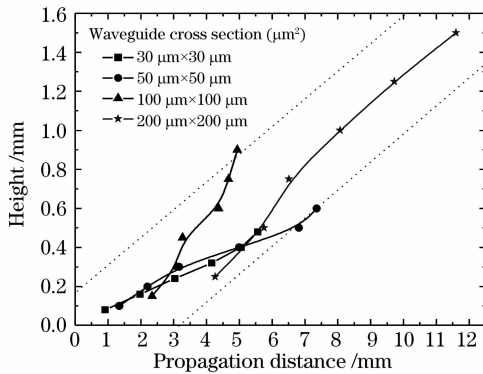


图5 不同截面的矩形波导跨越高度与横向跨越距离的关系
Fig.5 Striding-over height versus propagation distance for S type striding-over circuits of polymer waveguide with various cross sections

块符号曲线为例,当跨越的层数增多即跨越高度 H 增加时,横向跨距 L 也相应增加,且变化近似线性。其余三种波导截面对应的 S 形弯曲波导也呈现类似的特性,即跨越距离 L 随跨越高度 H 以近似线性的规律递增,四种波导的横向跨距随跨越高度变化的总体趋势如图 5 中黑色虚线所示,即 $H/L \approx 0.128$ 。对该关系的进一步研究得知,对于给定波导截面,调节层间隔可以优化可跨越度。如缩小层间隔值,则在相同的跨越高度下,可增加一定的芯片层数。

3.3 模式分布对跨越段传输损耗的影响

在实际应用中,通常采用单模光源如垂直腔面发射激光器作为光学互连线路的输入光源,而 S 形弯曲波导结构多数是多模波导,光源与波导耦合后的模式重新分布可能对传输损耗产生较大的影响。为了与实际测量相对比,在分析光模式分布与垂直耦合结构传输损耗的关系时,选取高斯光源作为线路的输入光源。从光源出射的单模光束被认为可以在一定波导中经过反复振荡激励,模式逐渐散开,最后分布均匀形成多模光束在多模波导线路中传输,从而在经过 S 形弯曲波导时光束能量分布能够符合上述的规律。也就是说入射的光束需要经过扰模器再进入垂直耦合光学线路等光学互连线路才能实现预期的能量分配。为了简化结构,采用与 S 形弯曲波导相连接的芯片层中的具有一定长度的直波导作为扰模器,该直波导的长度作为模式分布的变量,光经过的直波导越长,模式越接近于理想的均匀多模分布。通过在 S 形弯曲波导的另一端监测光能量,经过跨越多层的模拟,得到输入光束的模式分布与 S 形弯曲波导结构的传输损耗的关联性如图 6 所示。模拟使用的波导截面为 $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$,光源为高斯光源(发散角 $8^\circ \sim 12^\circ$,垂直腔面发射激光器

光源的典型值),跨越高度为 0.45 mm ;取了五个跨越距离 L 值,对应不同的传输损耗,以观察对于 H/L 值不同的波导,模式分布是否产生同样的影响。在图 6 中,以最明显的蓝色空心三角符号曲线 ($L=3 \text{ mm}$, $H=0.45 \text{ mm}$, $H/L=0.15$) 为例,当输入段直波导长度从 3 mm 增加到 9 mm 时,跨越段损耗值从 8 dB 迅速下降到 1.5 dB ,曲线斜率变化明显。证明从光源出射的单模光在传输过程中,由于模式尚未完全散开,在波导中分布不均匀,因此对耦合效率产生了较大的影响。当输入段直波导长度大于 9 mm 后,曲线近似为一条直线,并且当波导长度继续增加(直至 20 mm)时,损耗值也几乎没有变化,说明此时从光源出射的单模光,通过在输入段直波导中的振荡激励,已经完全散开并均匀分布于各模式中,进一步增加波导长度对损耗值的影响已非常小。

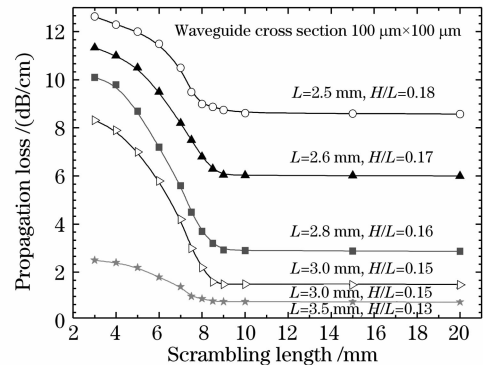


图6 模式分布对跨越段传输损耗的影响

Fig.6 Propagation loss as a function of mode scrambling

另外四条曲线也表现出相近的变化规律,说明对于不同的 H/L 值,模式分布对波导损耗的影响基本相同,都表现出强烈的关联性:当波导内模式分布不均匀时,损耗值出现虚高(比实际值可高出 1 至 8 dB);当波导内模式分布均匀时,损耗值保持稳定,不再随输入段直波导长度增加而变化。

在前面分析跨越高度与跨越距离的关系时,所用的分析光源是已经完全散开的均匀多模光源。在实际光互连线路中,大部分情况下进入垂直耦合光互连线路前的光束已经过其它光器件,波导中的各种模式得到激发,处于一定的均匀多模分布状态,可获得预期的传输特性。但是若单模光源直接输入垂直耦合线路,则需考虑在 S 形弯曲波导的连接端加入一定长度的直波导以使各种模式得到激发而分布均匀。

4 实验结果

对上述层间垂直耦合结构使用软光刻工艺进行

了实物制作,并对光能量分布进行了实际测量。使用高分辨力的三维雕刻机(步长分辨力为 $0.7\ \mu\text{m}$),通过数控单线雕刻法在黄铜版上刻制了两组共 18 个层间跨越结构,高聚物波导管的矩形横截面积分别为 $50\ \mu\text{m}\times 50\ \mu\text{m}$ (跨越高度 H 分别为 $0.1\ \text{mm}$, $0.4\ \text{mm}$, $0.6\ \text{mm}$), $100\ \mu\text{m}\times 100\ \mu\text{m}$ (跨越高度 H 分别为 $0.1\ \text{mm}$, $0.45\ \text{mm}$, $0.9\ \text{mm}$)。刻制的母版为器件的阴模,然后对其进行光学面的抛光。用硅酮弹性体 (PDMS) Silgard184 (Dow corning) 在 $80\ ^\circ\text{C}$ 温度下加热 $2\ \text{h}$ 以低收缩率翻制阳模。重复进行上述步骤,利用 PDMS 阳模精确翻印 PDMS 阴模。将 UV 固化树脂通过毛细效应填充该模具,将其覆盖于已涂有低折射率树脂的电路板上,采用紫外光曝光固化,而后将硅酮模具剥离,即形成所需的层间耦合连接结构,如图 7 所示。图 7(a) 是基本的 S 形弯曲波导结构 ($100\ \mu\text{m}\times 10\ \mu\text{m}$), 从与单模光纤(包层直径为 $125\ \mu\text{m}$) 的比较可以很清楚地看到波导的尺寸。图 7(b) 是 S 形弯曲波导结构位于 S 形基底上的情形 ($H/L = 0.15$, $H = 0.9\ \text{mm}$, $L = 6\ \text{mm}$), 此整体可以安置在线路板上,完成所需的芯片层间的垂直耦合。

用 $850\ \text{nm}$ 垂直腔面发射激光器作为其输入光

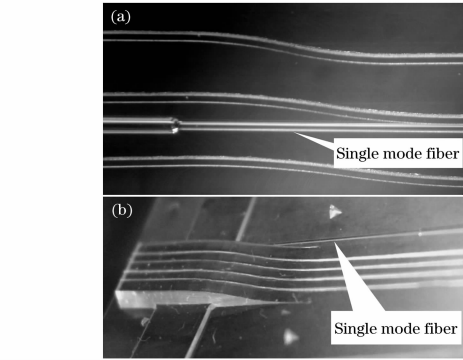
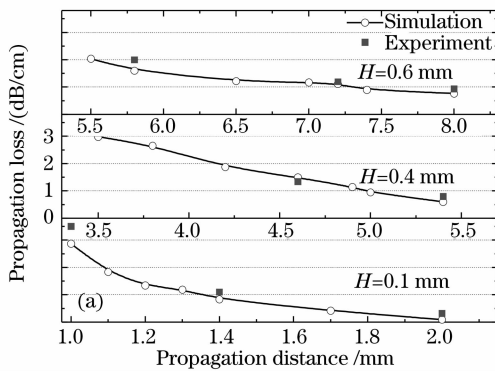


图 7 基本 S 形弯曲波导结构(a),层间耦合结构(b)与单模光纤的对比

Fig. 7 Comparison between single-mode optical fiber and S-shaped waveguide (a), layer-layer coupling structure (b) 光源,由光功率计(Thorlab S110)测量其输出光功率,获得传输损耗实验值,如图 8 中的实心方点所示。

从图 8 可以看出,实心方点所代表的传输损耗实验值与空心圆点所代表的模拟计算值非常接近,曲线趋势基本吻合。在 18 个实验结果中,大部分点的损耗值都略高于模拟计算结果,这是由于实际制作过程中带来的附加损耗。要减小附加损耗,需进一步完善制作工艺,提高软光刻翻印母版的表面精度,减少器件表面凹凸对附加损耗的影响。

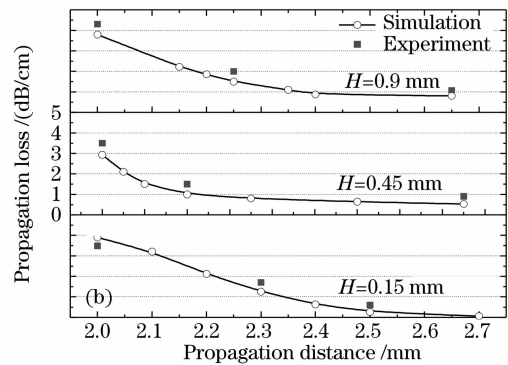


图 8 实验得到的损耗测量值(实心方点)与模拟计算值(空心圆点)的对比。(a)横截面积 $50\ \mu\text{m}\times 50\ \mu\text{m}$, (b)横截面积为 $100\ \mu\text{m}\times 10\ \mu\text{m}$

Fig. 8 Comparison between measured (square) and calculated (open circle) results of loss. Cross section is $50\ \mu\text{m}\times 50\ \mu\text{m}$ (a), $100\ \mu\text{m}\times 10\ \mu\text{m}$ (b)

5 结 论

提出了一种新型的用于多层芯片间的垂直耦合结构,设计了具有低传输损耗的光学互连线路,并在 Zemax 软件中进行了大量的光线追迹模拟实验,发现当线路的跨越高度与横向跨度比值约为 0.128 时,能在保证线路尺寸较小的同时实现低损耗传输。使用软光刻工艺进行了线路结构的实际制作,将测

量值与理论设计进行了对比,获得了与软件模拟基本符合的实验结果。

该线路结构简单,成本低廉,且具有低损耗、小尺寸的优点,能很容易地被集成于芯片和板层之间,不仅可以解决电互连带来的通信瓶颈,也不存在自由空间光互连的安装精度问题,在超大规模光电集成电路和高性能计算机领域都有广泛的应用前景。

参考文献

- 1 N. Hendrickx, G. Van Steenberge, P. Geerinck *et al.*. Multilayer optical interconnections integrated on a printed circuit board [C]. *Proceedings Symposium IEEE/LEOS Benelux Chapter*, 2005, Mons:213~216
- 2 Kang Hui, Zhang Jianguying, Zhan Yuanling. Optical implementation of PS interconnection network with high efficiency using prisms[J]. *Acta Optica Sinica*, 1995, **15**(3): 332~336
康 辉,章江英,战元龄. 用棱镜实现高效率的完全混洗互连网络[J]. *光学学报*, 1995, **15**(3): 332~336
- 3 Youju Mao, Yi Lü, Jiang Liu *et al.*. A scheme of optical interconnection for super high speed parallel computer[J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(11): 667~669
- 4 Junhao Wu, Jing Wu, Junfeng Bao *et al.*. Soft-lithography-based optical interconnection with high misalignment tolerance [J]. *Opt. Exp.*, 2005, **13**(16): 6259~6267
- 5 Ni Wei, Wu Xingqun. Soft-lithography-based inter-chip optical interconnection circuit [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(5): 813~818
- 倪 玮,吴兴坤. 基于软光刻的片间光学互连线路[J]. *光学学报*, 2007, **27**(5): 813~818
- 6 G. Van Steenberge, P. Geerinck, S. Van Put *et al.*. Integration of multimode waveguides and micromirror couplers in printed circuit boards using laser ablation[J]. *Proceedings Symposium IEEE/LEOS Benelux Chapter*, 2003, Enschede: 285~288
- 7 Maura Raburn, Bin Liu, Katharina Rauscher *et al.*. 3-D photonic circuit technology [J]. *IEEE J. Selected Topics in Quantum Electronics*, 2002, **8**(4): 935~942
- 8 Jong-Moo Lee, Joon Tae Ahn, Doo Hee Cho *et al.*. Vertical coupling of polymeric double-layered waveguides using a stepped MMI coupler[J]. *ETRI J.*, 2003, **25**(2): 81~88
- 9 Sean M. Garner, Sang-Shin Lee, Vadim Chuyanov *et al.*. Three-dimensional integrated optics using polymers [J]. *IEEE J. Quant. Electron.*, **35**(8): 1146~1155
- 10 Younan Xia, George M. Whitesides. Soft lithography[J]. *Annu. Rev. Mater. Sci.*, 1998, **28**: 153~184
- 11 Yanyi Huang, George T. Paloczi, Jacob Scheuer *et al.*. Soft lithography replication of polymeric microring optical resonators [J]. *Opt. Exp.*, 2003, **11**(20): 2452~2458

《中国激光》“综述”栏目征稿启事

《中国激光》创刊 30 多年以来,以反映我国激光领域的研究进展和成果为己任,见证了中国激光领域的发展历程和重大突破,在读者中树立了较高的学术地位,形成了较为成熟的办刊风格。近年来,激光研究的领域取得了令人瞩目的成就,在我国科技体系与国民经济中占据了越来越重要的地位,为了给广大研究人员提供更丰富、更全面的信息,应部分读者的要求,本刊增辟“综述”栏目,刊发综述类文章,反映激光领域热点专题的研究进展或动态。

具体要求:综述应尽可能就激光领域的研究热点结合最新的研究成果进行论述,涉及范围不需太大,但必须要有一定的深度和时间性,能反映出这一专题的历史背景、研究现状和发展趋势。文章必须有作者自己的研究经验或体会,所介绍的工作应尽量适合国内已开展的工作或将要开展工作的需要。

综述的写作格式一般包括四部分,即引言、正文、结论、参考文献。

引言,要用简明扼要的文字说明写作的目的、必要性、有关概念的定义,综述的范围,阐述有关问题的现状和动态,以及目前对主要问题争论的焦点等。引言一般以 200~300 字为宜,不宜超过 500 字。

正文,是综述的重点,应能较好地表达综合的内容。正文主要包括论据和论证两个部分,通过提出问题、分析问题和解决问题,比较不同学者对同一问题的看法及其理论依据,进一步阐明问题的来龙去脉和作者自己的见解。当然,作者也可从问题发生的历史背景、目前现状、发展方向等提出文献的不同观点。正文的重要部分应包括作者自己的工作实践。正文部分可根据内容的多少分为若干个小标题分别论述。

结论,是对综述正文部分作扼要的总结,作者应对各种观点进行综合评价,提出自己的看法,指出存在的问题及今后发展的方向和展望。

参考文献,是综述的重要组成部分。一般参考文献的多少可体现作者阅读文献的广度和深度,应以最近 3~5 年内的最新文献为主。

文章篇幅一般在 1 万字左右,一经录用,从速发表,稿酬从优。

《中国激光》编辑部