

新型 2×2 聚合物波导垂直耦合器的研究

赵虎旦^{1,2}, 鄂书林¹, 邓文渊¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室, 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘 要: 对 2×2 聚合物波导垂直耦合器的理论设计和制作过程进行了研究。首先, 利用光束传播法 (BPM) 设计并研究了垂直耦合器的关键参数 (交叉角、垂直耦合层厚度) 与耦合效率和消光比之间的关系。模拟结果表明, 耦合效率最高为 93% 消光比最高为 29dB。其次, 利用标准光刻工艺制作了波导尺寸为 $4 \times 4 \mu\text{m}$, 垂直耦合层厚度为 $2 \mu\text{m}$, 相对交叉角为 1.0° 的聚合物波导垂直耦合器。实验结果表明, 采用聚合物制备波导垂直耦合器, 具有工艺简单、灵活的优点。

关键词: 光束传播法; 聚合物波导; 垂直耦合器

中图分类号: TN929.11 文献标识码: A

Study on novel 2×2 polymer waveguide vertical coupler

ZHAO Hu-dan^{1,2}, E Shu-lin¹, DENG Wen-yuan¹

(1.State Key Laboratory of Applied Optics, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: A 2×2 full polymer waveguide vertical coupler was studied and fabricated in this text. Firstly, the relationships between the coupling efficiency and the key optical design parameters of vertical coupler (such as the crossing angle, vertical coupling gap thickness between two waveguide layers) were investigated by using beam propagation method (BPM). The simulated results indicate that the maximum value of the coupling efficiency is 93%, and the maximum value of the extinction ratio is 29dB. Secondly, based on these simulations, the fabrication of a fully polymer vertical coupler with crossing angles at 1.0° , vertical coupling gap thickness of $2.0 \mu\text{m}$ and waveguide dimensions of $4 \times 4 \mu\text{m}$ was described in detail. The experimental results show that the vertical coupler has the attractive and unique feature that the fabrication is easy and simple.

Key words: beam propagation method (BPM); polymer waveguide; vertical coupler

1 引言

随着全光网络的迅猛发展, 作为集成光路关键器件的密集定向耦合器^[1-3]的重要性越来越突出。然而到目前为止, 光电子器件的主流还是二维集成结构, 由于对微制作技术而言它能够实现较高的精确度, 但是当所制作波导的交叉角很小时, 器件难以制备。与其相比, 三维集成光电子器件具有可以拓展光器件回路的功能和实现光器件的高集成度的优点。Garner 等^[4]报道了一种垂直集成波导偏振分束器。在他们的实验

中, TM 模通过一段倾斜波导从下波导传到上波导。然而, 器件的消光比仅仅约为 15dB。Keil 等^[5]报道了一种混合式垂直耦合热光开关, 在这种结构中, 下波导由二氧化硅组成, 上波导由聚合物组成。两波导相对夹角为 0.4° 。

本文提出并设计了一种全聚合物的波导垂直耦合器。该器件能够在较小的垂直耦合层厚度和较大的交叉角度获得较大的耦合效率和较高的消光比。此外, 由于在器件的制作过程中全部使用聚合物材料, 所以器件可以采用全聚合物技术, 制备工艺简单。

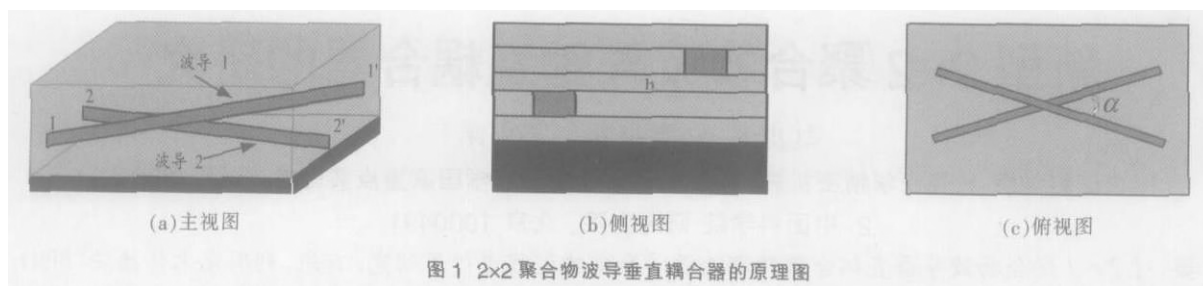
2 原理与设计

图 1 给出了 2×2 聚合物波导垂直耦合器的原理

收稿日期: 2007-04-16。

基金项目: 吉林省科技厅项目 (20060521) 资助; 中科院长春光学精密机械与物理研究所应用光学国家重点实验室基金 (06133FQ064) 资助。

作者简介: 赵虎旦 (1981-), 男, 硕士研究生, 主要从事聚合物光波导器件的研究。



度很小的两个位于上下不同层内光波导之间的光场耦合来实现垂直耦合。两个波导之间的相对交叉角及两波导间的垂直耦合层厚度是垂直耦合器的关键参数,与耦合区域面积的大小和器件加工的难易程度有着直接关系,从而影响了器件光学特性参量,如耦合效率、消光比等。下面我们对垂直耦合器的耦合效率和消光比与器件关键参数之间的关系进行了系统的研究,以达到器件性能的最优化。

首先,模拟计算了耦合效率与两波导间垂直耦合层厚度和两波导交叉角之间的关系。模拟结果如图2所示。

从图2中可以看出,当垂直耦合层厚度(d 代表垂直耦合层厚度)从 $1.6\mu\text{m}$ 增加到 $2.4\mu\text{m}$ 时,其耦合效率的最大值从 93% 下降到 88%,并且垂直耦合层厚度较大的耦合器,其最大耦合效率的容差较大。所以,随着垂直耦合层厚度的增大,耦合效率在减小;而且,对于一个确定的垂直耦合层厚度,总有一个交叉角能够实现垂直耦合器的最大耦合效率。

其次,模拟计算了耦合效率最大时,两波导最佳交叉角与垂直耦合层厚度之间的关系,模拟结果如图3所示。

从图3中可以看出,交叉角随垂直耦合层厚度的增加而减小。所以,在较小的垂直耦合层厚度下能够获得较大的耦合效率和较大的交叉角。但垂直耦合层厚度较小时,最大耦合效率的容差小,因此设计时把握好垂直耦合层厚度很关键。

最后,模拟计算了垂直耦合器的消光比与垂直耦合层厚度之间的关系,模拟结果如图4所示。

从图4中可以看出:消光比最高可达 29dB,而且随着垂直耦合层厚度的增大,消光比越来越低。

为了更好地实现高耦合效率和高消光比之间的平衡,达到器件性能的最优化,文中选取耦合效率为 91%,消光比为 22dB,波导尺寸为 $4\times 4\mu\text{m}$,垂直耦合层厚度为 $2\mu\text{m}$,相对交叉角为 1.0 等参数来制作聚合物波导垂直耦合器。

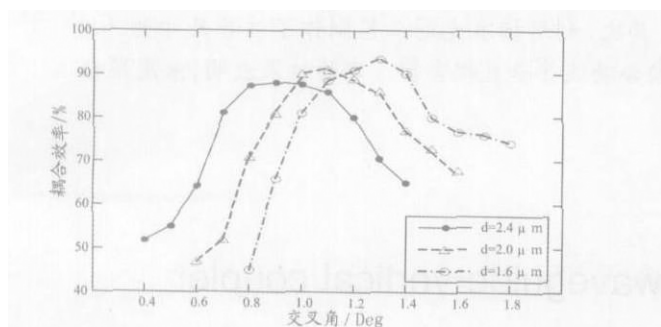


图2 在不同的垂直耦合层厚度下,耦合效率与交叉角的关系曲线

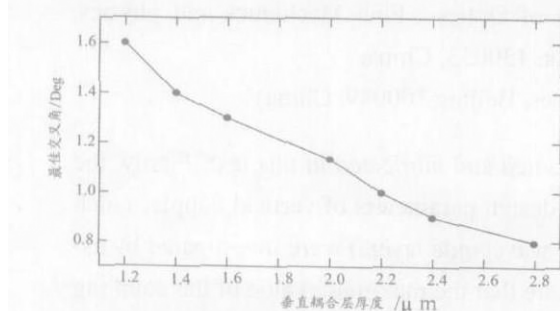


图3 最佳交叉角与垂直耦合层厚度的关系曲线

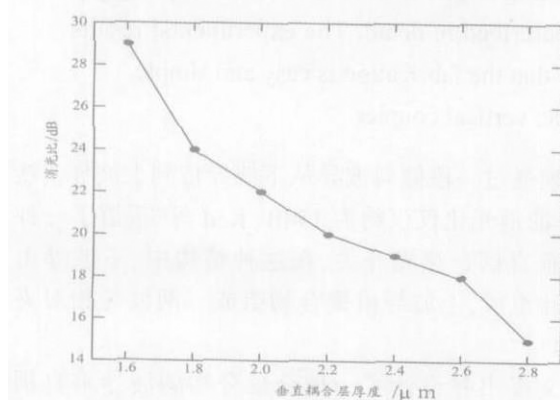


图4 消光比与垂直耦合层厚度的关系曲线

图。从图中可以看到,器件主要由两个交叉的矩形直波导组成,两波导分别位于上下两个不同的平面内,中间被一层厚度为 h 的缓冲层隔离,两波导的交叉角为 α 。整个装置在 Si 基底上制作。

这种 2×2 聚合物波导垂直耦合器是通过交叉角

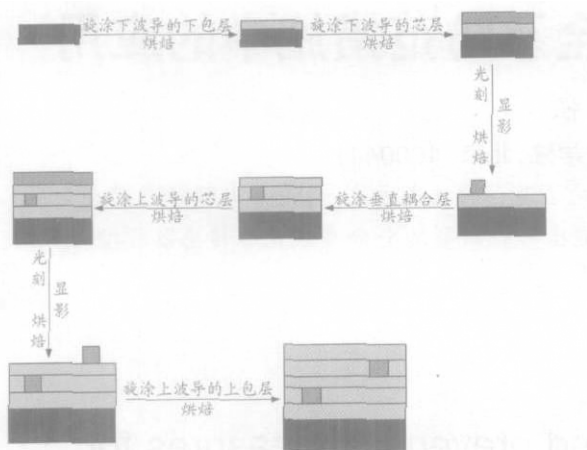


图5 制作工艺流程图

3 实验

聚合物波导垂直耦合器制作的工艺流程如图5所示。

在实验中,我们选取硅材料为衬底。具体的实验步骤如下:

(1) 制作下波导的下包层 在硅衬底上用可调速 KW-4A 型台式匀胶机依次旋涂 BCB 附着剂和聚合物材料 BCB,作为下波导的下包层,转速 2000 转/分,时间为 10 秒。然后在真空条件下,用烘箱在氮气保护下坚膜,在 250 °C 温度下坚膜 60 分钟。

(2) 制作下波导的芯层 首先,以转速 5000 转/分、时间 30 秒旋涂 SU-8 作为下波导芯层。然后前烘:在 65 °C 温度下坚膜 10 分钟,接着在 95 °C 温度下坚膜 10 分钟。其次,用 Karluss MA-6 型光刻机进行光刻,曝光时间为 40 秒。继而后烘:在 65 °C 温度下再次坚膜 10 分钟,接着在 95 °C 温度下再次坚膜 10 分钟。最后,用 PGMEA 显影液进行显影。

(3) 制作垂直耦合层 以转速 3000 转/分、时间 10 秒旋涂 BCB 作为垂直耦合层。坚膜条件同第 1 步。

(4) 制作上波导的芯层 制作方法同第 2 步。

(5) 制作上波导的上包层 制作方法同第 1 步。

通过以上步骤我们制备了一个波导尺寸为 $4 \times 4 \mu\text{m}$,垂直耦合层厚度为 $2 \mu\text{m}$,两波导相对交叉角为 1.0 的聚合物垂直耦合器。

在使用 BCB 和 SU-8 制作器件的实验过程中,存在以下两方面问题:(1)在旋涂垂直耦合层时,很难控制好垂直耦合层的厚度,这样会使得耦合层的厚度变大,导致耦合效率会变小,消光比会变低;(2)在制作过程中所形成的波导芯层侧壁往往会有些凹凸不平,

由于芯层侧壁的不光滑而引起传输光的散射将产生较大的传输损耗。因此,在实验中,要精确地控制好垂直耦合层的厚度,同时,使用蒸气回溶技术^[9]来减小波导表面和侧壁的粗糙度,从而降低光在波导中传输时由于波导表面和侧壁的粗糙引起的散射损耗。

4 结论

模拟结果表明,随着垂直耦合层厚度的增大,耦合效率在减小,消光比在降低,并且交叉角随垂直耦合层厚度的增加而减小,因此在器件的制作过程中控制好两波导的相对交叉角和两波导间的垂直耦合层厚度的是非常重要的。通过优化设计可以在较小的垂直耦合层厚度下获得较大的耦合效率、较大的交叉角和较高的消光比,更重要的是,这样就可以在缓冲层发生变化的情况下,通过调节交叉角来修正。然后根据模拟结果,制作了波导尺寸为 $4 \times 4 \mu\text{m}$,垂直耦合层厚度为 $2 \mu\text{m}$,相对交叉角为 1.0 的聚合物波导垂直耦合器。实验表明,由于三维垂直耦合器的波导位于不同的平行平面内,所以文中研制的波导更易制作。在以后的工作中通过改进制作工艺,采用更为精细的工艺条件来制作聚合物波导垂直耦合器。

参考文献:

- [1] 田丰,谢绍斌,刘小龙.一种大功率宽频带低损耗定向耦合器的设计与实现[J].电子科技,2006,(4):47-50.
- [2] 朱畅,冯起,袁乃昌.新型定向耦合器在 DIFM 中的应用[J].现代雷达,2006,28(2):60-63.
- [3] 韩磊,黄庆安,廖小平.X 波段微带线定向耦合器的设计与模拟[J].电子器件,2006,29(2):397-400.
- [4] GARNER S M, CHUYANOV V, LEE S S, et al. Vertically integrated waveguide polarization splitters using polymers [J]. Photon. Technol. Lett, 1999, 11 (7):842-844.
- [5] KEIL N, WEINERT C, WIRGES W, et al. Thermo-optical coupler switches using hybrid polymer/silica integration technology [J]. Electron. Lett, 2000, 36 (5): 430-431.
- [6] KOCH T B, DAVIES J B, Wickramasinghe D. Finite element/finite difference propagation algorithm for Integrated optical device [J]. Electr. Lett., 1989, 25(8): 514-516.
- [7] CHUNG Y, DAGLI N. An assessment of finite difference beam propagation method [J]. J. Quant. Electr, 1990, 26(8): 1335-1339.
- [8] CHUNG Y, DAGLI N. Explicit finite difference beam propagation method: application to semiconductor rib waveguide Y-junction analysis [J]. Electr. Lett, 1990, 26(11): 711-713.
- [9] 张国伟,鄂书林,邓文渊,等.聚合物阵列波导光栅的制作技术[J].发光学报,2006,27(3):413-416.