

SOI 大截面单模脊形 X 型分支波导的研制*

赵策洲** 李国正 刘恩科

(西安交通大学电子工程系, 西安 710049)

摘 要 报道了硅片直接键合(SDB)SOI 大截面单模脊形 X 型分支波导的研制. 对于波长为 1.3 μm 的光, 在 $\theta = 2^\circ$ 小分支角时, 这种分支波导的通道串音小于 -20 dB, 辐射损耗小于 0.3 dB, 直通传输损耗小于 0.85 dB/cm.

关键词 SOI, 脊形 X 型分支波导, 集成光学.

1 引 言

X 型分支波导是 1×2 和 2×2 马赫-陈德尔光波导开关^[1,2], 2×2 全内反射型光波导开关^[3,4]的基础, 目前已在硅材料中成功地研制出这种分支波导^[5,6]. 随着 SOI 大截面脊形波导的成功研制^[7~9]和 X 型分支波导理论的深入研究^[10~12], 为 SOI 分支波导的研究提供了坚实的理论基础和实验基础. 本文针对硅片直接键合(SDB)SOI 良好的 Si/SiO₂ 界面性能和良好的硅膜本体性能^[13](从而适合作高质量波导^[14]), 对硅片直接键合 SOI 脊形大截面 X 型分支波导进行了研究.

2 理论分析

根据大截面单模脊形波导理论^[7], 对于如图 1(a)、图 1(b)所示的 X 型分支波导的各分支脊形波导, 如图 1(c)所示, 具有小的腐蚀深度, 即: $(b-h)/b \geq 0.5$, 从而表现出弱导特性, 因此可用标量光束传播法分析. 而且各单模波导的大截面, 意味着脊外区域也可以承载基模, 因此有效折射率法也是有效的. 在定义通道串音 $CT = 10 \log (P_4/P_3)$ 、辐射损耗 $L = 10 \log [(P_3 + P_4)/P_1]$ 和直通损耗 $DL = 10 \log (P_4/P_1)$ 后, 通过先利用有效折射率法将实际的三维交叉波导等效于二维交叉波导, 然后再采用光束传播法求解二维标量亥姆霍茨(Helmholtz)方程, 可得分支角与通道串音和辐射损耗的关系^[10]. 对于表 1 所示的器件结构参数, 当 $\theta = 2^\circ$ 时, 对于 X 型交叉波导, 通道串音小于 -25 dB、辐射损耗小于 0.25 dB; 对于加宽 X 型交叉波导, 通道串音小于 -20 dB、辐射损耗小于 0.3 dB.

* 本工作得到国家“863”基金资助和国家教委博士点基金资助.

** 现通讯地址: 西安电子科技大学微电子所, 710071.

收稿日期: 1994年4月28日; 收到修改稿日期: 1994年5月27日

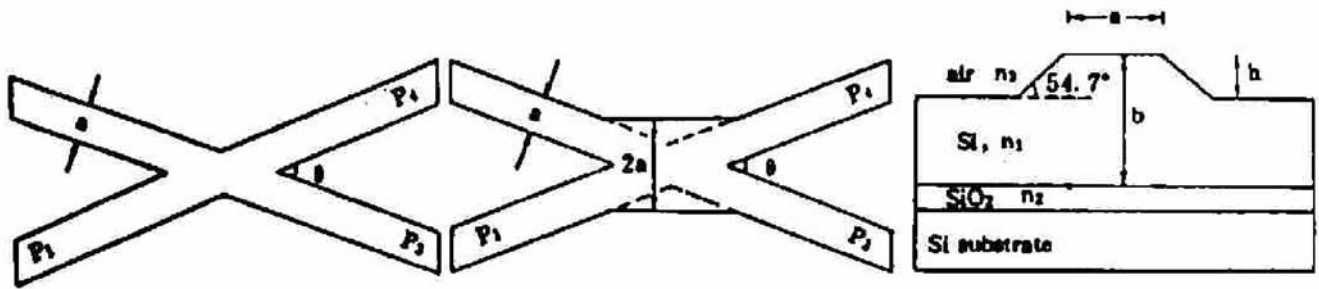


Fig. 1 (a) Rib X-structure waveguide, (b) Rib widened X-structure waveguide, (c) A cross-section of branching of one device shown in (a) or (b)

Table 1. Parameters of devices shown in Fig. 1

Parameters sample	a (μm)	b (μm)	h (μm)	θ	n_1	n_2	n_3
1	6	6	2	2°	3.505	1.45	1
2	6	8	2	2°	3.505	1.45	1
3	8	6	2	2°	3.505	1.45	1
4	8	8	2	2°	3.505	1.45	1

3 X 型分支波导的研制与测量

将两片晶向均为 $\langle 100 \rangle$ 的硅片清洗, 亲水后将其中一片氧化, 再与另一片在氧气份中 1200°C 下高温键合 2 小时, 通过高精度研磨和抛光氧化的那片后, 减薄该片至 $b = 6 \mu\text{m}$ 或 $8 \mu\text{m}$, 从而制成 SOI 结构. SOI 结构中 SiO_2 的厚度为 $0.8 \mu\text{m}$ 左右, 其上硅的掺杂浓度小于 10^{16}cm^{-3} , 从而在波长为 $1.3 \mu\text{m}$ 时, $n_1 = 3.505$. 对形成的硅片直接键合 SOI 氧化光刻后, 通过氢氧化钾液相 ($\text{KOH}:\text{H}_2\text{O} = 3:2$) 各向异性腐蚀, 使 $h = 2 \mu\text{m}$. 最后漂去氧化层, 并对器件两个端面进行抛光, 以便光纤直接耦合, 便形成了如图 1 所示的两种 X 型大截面脊形分支波导. 用波长为 $1.3 \mu\text{m}$ 的单模激光对 X 型分支波导进行测量, 其测量系统框图如图 2 所示. 当输入光从图 1 的 X 型分支波导的输入端 P_1 输入, 从输出端 P_1 输出后, 通过红外变像管观察到一个明亮的光点, 如图 3 所示. 从图 3 中可以看出, 这个近场模斑为单模特性. 通过用光功率计进行测量, 可得分支波导的直通传播损耗平均小于 0.85 dB/cm .

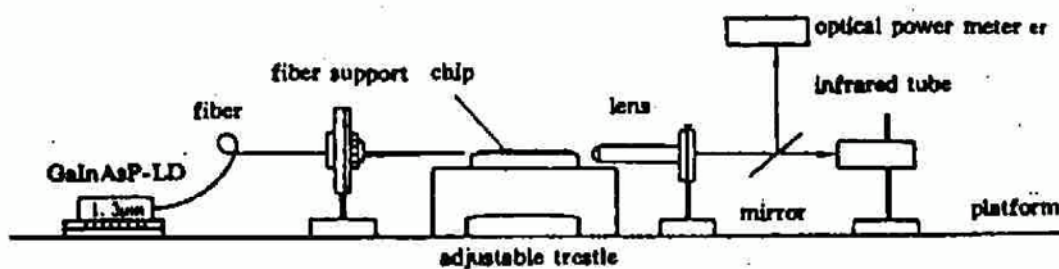


Fig. 2 X type crossing waveguides measurement system



Fig. 3 X type crossing waveguides measurement photo

结 论 本文首次报道了硅片直接键合 SOI 大截面单模脊形 X 型对称分支波导的研制, 对其串音和辐射损耗进行了分析, 在分支角为 2° 时, 其通道串音小于 -20 dB, 辐射损耗小于 0.3 dB, 并测得其直通传输损耗小于 0.85 dB/cm.

参 考 文 献

- [1] 冯 浩, 王明华, GaAs 1×2 Mach-Zehnder 波导开关/调制器. 半导体学报, 1994, 15(2): 109~114
- [2] 冯 浩, 李锡华, 王明华, GaAs 2×2 Mach-Zehnder 光波导开关调制器. 光学学报, 1992, 12(11): 1043~1048
- [3] 庄婉如, 林雯华, 扬培生等, 载流子注入全内反射型 CaAs/GaAlAs 光波导开关. 半导体学报, 1993, 14(1): 1~5
- [4] F. Ito, M. Matsuura, T. Tanifuji, A carrier injection type optical switch in GaAs using free carrier plasma dispersion with wavelength range from $1.06 \sim 1.55 \mu\text{m}$. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1989, 25(7): 1677~1681
- [5] R. A. Soref, J. P. Lorenzo, All-silicon active and passive guided-wave components for $\lambda = 1.3$ and $1.6 \mu\text{m}$. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1986, 22(6): 873~879
- [6] R. A. Soref, J. P. Lorenzo, Single-crystal silicon: A new material for $\lambda = 1.3$ and $1.6 \mu\text{m}$ integrated-optical components. *Electron. Lett.*, 1985, 21(21): 953~954
- [7] R. A. Soref, J. Schmidtchen, K. Petermann, Large single-mode rib waveguides in GeSi-Si and Si-on-SiO₂, *IEEE J. Quant. Electron.*, 1991, 27(8): 1971~1974
- [8] 潘 姬, 谭 雁, 栗国星等, 硅 SIMOX 单模脊形光波导研制. 半导体学报, 1994, 15(2): 115~118
- [9] J. Schmidtchen, A. Splett, B. Schupper *et al.*, Low loss singlemode optical waveguides with large cross-section in silicon-on-insulator. *Electron. Lett.*, 1991, 27(16): 1486~1587
- [10] 刘育梁, 刘恩科, 刘志敏等, 大截面单模半导体脊形交叉波导传输特性. 光学学报, 1994, 15(3): 292~295
- [11] G. E. Betts, W. S. C. Chang, Crossing-channel waveguide electrooptic modulators. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1986, 22(7): 1027~1038
- [12] 林雯华, 庄婉如, 王德煌, 全内反射型半导体光波导开关器件模型分析. 半导体学报, 1993, 14(4): 233~241
- [13] 童勤义, 孙国梁, 徐晓莉等, 硅片直接键合中表面活化的研究. 电子学报, 1990, 18(3): 32~36
- [14] A. F. Evans, D. G. Holl, W. P. Maszara, Propagation loss measurements in silicon in silicon-on-insulator optical waveguides formed by the bond-and-etchback process. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, 59(14): 1667~1669

Fabrication of X Type Crossing Waveguide Structure Constructed by Large Single-Mode Rib SOI Waveguide

Zhao Cezhou Li Guozheng Liu Enke

(Electronic Engineering Department, Xian Jiaotong University, Xian 710049)

(Received 28 April 1994; revised 27 May 1994)

Abstract X type crossing waveguide structures constructed by large single-mode rib SOI (silicon-on-insulator) waveguide have been fabricated. The SOI structure is formed by SDB (silicon wafer direct bonding) process. When crossing angle of the crossing waveguides is equal to 2° , their crosstalks is below to -20 dB, their radiation losses is below to 0.3 dB, and their propagation losses of the direct channels are measured to be approximately 0.85 dB/cm at a wavelength of $1.3 \mu\text{m}$.

Key words SOI, crossing waveguide, integrated optics.