

SOI 定向耦合器研制*

赵策洲 李国正 刘恩科 刘西钉 高 勇

(西安交通大学电子工程系 西安 710049)

摘要 本文根据大截面单模脊形波导条件和有效折射率法,在硅片直接键合后背面抛光减薄的 SOI 材料上,通过氢氧化钾各向异性腐蚀的方法,成功地研制出 SOI 定向耦合器,在波长为 $1.3\mu\text{m}$ 时,其平均插入损耗为 4.8dB,平均串音小于 -18.6dB.

EEACC: 2530F, 4130, 2550

1 引言

全硅光集成技术自80年代中期间世以来,光波传输损耗减小到1dB/cm数量级以下的大截面 SOI 单模脊形光波导的成功研制^[1-3],使硅光集成迈出了可喜的一步.定向耦合器是重要的无源波导器件之一,是定向耦合调制器的基础.目前已成功研制出 $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}/\text{Si}$ ^[4], GaAs ^[5], $\text{GaAlAs}/\text{GaAs}$ ^[6] 定向耦合器.鉴于目前尚未见到有关 SOI 定向耦合器的报道,本文首先简单介绍它的理论,然后详细报告 SOI 平板波导的制备工艺和定向耦合器的制备工艺及测试.

2 简单理论分析

图1给出了定向耦合器及其截面图和等效结构.单模脊形波导的条件为^[2]

$$\frac{W}{d_1} \leq 0.3 + \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \quad (1)$$

其中

$$r = \frac{d_2}{d_1} \geq 0.5, \quad W \leq 10\mu\text{m}$$

* 国家“863”基金和国家教委博士点基金资助项目

赵策洲 男,1964年生,副教授,目前主要从事微电子技术和集成光学研究,现在通讯地址为西安电子科技大学微电子所

刘恩科 男,1930年生,教授,目前主要从事微电子技术和集成光学研究
1994年7月7日收到初稿,1994年8月30日收到修改稿

对于功率为 P_1 的单模激光,从单模脊形波导 A 入射后,其输出功率 P_3 和 P_4 (如图1(a)所示)的分配为^[5]

$$\left. \begin{aligned} \frac{P_4}{P_1} &= \sin^2(kL) \\ \frac{P_3}{P_1} &= \cos^2(kL) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中 k 为耦合系数.

由于当 $d_2/d_1 \geq 0.5$ 时,可把梯形大截面脊形波导视为矩形大截面脊形波导来处理^[3],因此由有效折射率法,定向耦合器的等效结构如图1(c)所示,图中 n_4 由下式确定

$$n_4 = (n_1^2 - N_2^2 + N_1^2)^{1/2} \quad (3)$$

式中, N_1 是厚度为 d_1 、折射率分布为 n_3, n_1 和 n_2 的平板波导的有效折射率. N_2 是厚度为 d_2 、折射率分布为 n_3, n_1 和 n_2 的平板波导的有效折射率^[7].

由场型分析法可解出图1(c)所示的定向耦合器 E_{mn} 模的耦合系数,从而耦合长度 L_c 为

$$L_c = \pi / (K_{ze} - K_{zo}) \quad (4)$$

式中 K_{ze} 和 K_{zo} 分别为偶模和奇模的传播常数,其表达式见文献^[8].

对于 $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ 的光波, SiO_2 的折射率 $n_2 = n_3 = 1.45$ 硅的折射率 $n_1 = 3.505$. 因此由(1)式可知,给定 W 和 d_1 ,可确定 d_2 ;由(4)式可知,给定 S 后,可确定 L_c ,从而定向耦合器的尺寸全部确定,如表1所示.

表1 定向耦合器几何参数

$W (\mu\text{m})$	6	6	8	8
$d (\mu\text{m})$	6	8	6	8
$d_1 - d_2 (\mu\text{m})$	2	2	2	2
$S (\mu\text{m})$	3	4	3	4
$L (\mu\text{m})$	1376.5	3479.2	1682.1	3894.7

3 定向耦合器的制备与测量

定向耦合器的制备分两个阶段,第一阶段制备 SOI 平板波导,其工艺为:清洗→亲水→衬底片氧化 (SiO_2 厚 400—500nm)→高温键合(氧气份,温度 1200℃,2小时)→减薄(背面精磨至 20μm 后再机械抛光到所要求的厚度 d_1 ,其平整性为 $\pm 0.5 \mu\text{m}$,样片大小为两英寸,该机械减薄工艺是关键工艺,比目前的有关报道^[9]要均匀),从而制备出波导芯厚度为 d_1 的平板硅片直接键合 SOI 波导. 第二阶段为耦合器的制备,其工艺为:制掩模板→氧化→光刻→氢氧化钾各向异性腐蚀(腐蚀掉硅的厚度为 $d_1 - d_2$,其成份为 70%KOH+30% H_2O ,腐蚀的质量取决于温

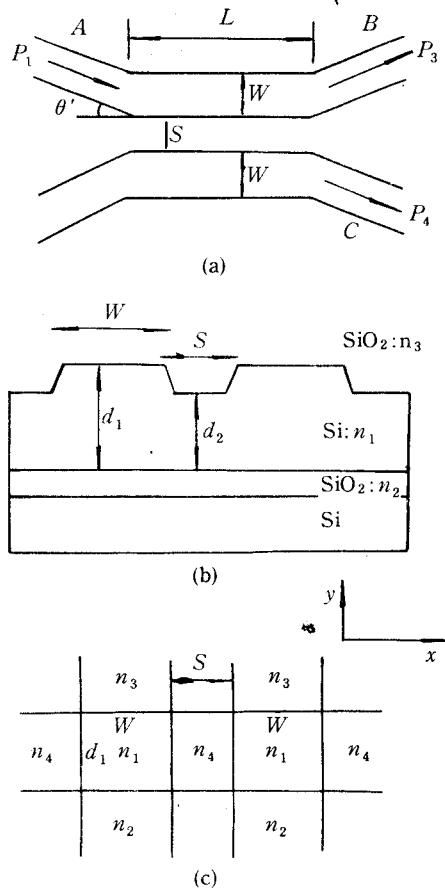


图1 定向耦合器(a)及其截面图(b)和等效结构(c)

度)→氧化(使包层也为 SiO_2)→划片→端面机械抛光,从而制备出 SOI 定向耦合器. 掩膜版上条宽 W 和耦合区长度 $L(L = L_c, L = L_c/2$ 两种)由表 1 确定,单模脊形波导分支角 $2\theta'$ 为 $3\sim 4^\circ$. 掩膜片上还设计有条宽为 W 的脊形单波导. 器件总长度为 5.9mm.

用波长为 $1.3\mu\text{m}$ 的单模激光对器件进行测试,其测度系统框图如图 2 所示. 首先对单波导进行测量,通过光功率计可计算出单模脊形波导的传输损耗小于 0.85dB/cm . 再对定向耦合器进行光斑显示测量,当输入光从定向耦合器的输入端 A 输入时,对于 $L = L_c$ 的器件,只有一个输出端 C 有光斑;对于 $L = L_c/2$ 的器件,发现有 2 个强度相近的光斑,如图 1(a)所示的 B, C 端功率输出相近,因此初步验证了设计的可行性. 最后对定向耦合器的性能参数进行测试,测得透镜吸收损耗为 0.83dB ,光纤与器件的耦合损耗为 0.71dB (因耦合损耗是波导和光纤模场不匹配以及耦合不完全准直引起的损耗,由于偶然因素的作用比较大,不可能得到统一的耦合损耗值,因此这里给出的只能是平增值,且其耦合效率约为 85%),器件的平均插入损耗为 4.8dB ,因此总的损耗为 6.34dB . 通过测量输出端 B 和 C 的光功率 p_3 和 p_4 ,可以得到定向耦合器的串音 $10\lg \frac{P_3}{P_4}$ 和输出功率耦合效率 $\frac{P_4}{P_3 + P_4}$. 对于 $L = L_c, S = 3\mu\text{m}$ 的一组 10 个器件进行测量,得到平均串音小于 -18.6dB ,平均输出功率耦合效率大于 98.6% ,因此最终证实了 SOI 定向耦合器的实用性.



图2 SOI 定向耦合器测试框图

4 结论

本文首次报道了 SOI 大截面定向耦合器的研制,对于 $1.3\mu\text{m}$ 的单模光波,测量器件的平均插入损耗为 4.8dB ,平均串音小于 -18.6dB .

致谢 本文工艺部分得到了电子部重庆 24 所刘玉奎,邹修庆同志的帮助,在此致以衷心的感谢.

参 考 文 献

- [1] 赵策洲,刘恩科,李国正,光学学报,1994,14(7):783—784.
- [2] R. A. Soref, J. Schmidtchen and K. Petermann, IEEE J. Quantum Electron., 1991, 27(8):1971—1974.
- [3] J. Schmidtchen, A. Splett, B. Schuppert *et al.*, Electron Lett., 1991, 27(16):1486—1487.
- [4] R. A. Mayer, K. H. Jung, T. Y. Wsieh *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1991, 58(24):2744—2745.
- [5] 冯浩,李锡华,王明华,吴志武,半导体学报,1993,14(5):286—291.
- [6] 王立军,武胜利,R. P. 萨拉第,光学学报,1994,14(2):219—221.
- [7] 马春生,刘式墉,电子学报,1989,17(5):85—90.
- [8] 易有胡,张玉田,陈德昭,庄婉如,1991,光电子器件与集成技术年会论文集,北京:清华大学出版社,周炳琨主编,1992年12月,451—457.
- [9] 李金华,林成鲁,G. T. Reed *et al.*, 光学学报,1994,14(2):169—172.

Fabrication of SOI Directional Coupler

Zhao Cezhou, Li Guozheng, Liu Enke, Liu Xiding and Gao Yong

(Electronic Engineering Department, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049)

Received 7 July 1994, revised manuscript received 30 August 1994

Abstract SOI directional couplers have been studied by using the large cross-section single mode rib waveguides conditions and using the effective index methods in silicon direct bonding SOI by back-polishing, and fabricated by using KOH anisotropic etching. The average insertion loss are measured to be 4.8 dB at a wavelength of 1.3 μm , the average crosstalk is below -18.6dB at 1.3 μm .

EEACC: 2530F, 4130, 2550