

Si_{1-x}Ge_x/Si 脊形波导 X 型分支器的研制

高 勇* 刘恩科 李国正 刘西钉 张翔九 卢学坤 王 迅
(西安交通大学电子工程系, (复旦大学应用表面物理国家重点实验室,
西安 710049) 上海 200433)

摘 要 采用分子束外延方法制作低损耗 Si_{1-x}Ge_x/Si 异质结脊形光波导, 在 X 型交叉波导上实现了 Si_{1-x}Ge_x/Si 光分支器的功能. 设计中采用了 SiGe 大截面脊形波导的单模条件和交叉波导传输特性分析的结果. X 型光分支器的实现为进一步研制 Si_{1-x}Ge_x/Si 光开关和光电调制器积累了经验.

关键词 Si_{1-x}Ge_x/Si 异质结, 脊形波导, 光分支器.

1 引 言

近年来以硅为基底的光电器件已成为集成光学的热门课题. 光波导是该器件的基本结构. 起初的硅基底光波导是在 n⁺ 基底上外延 n⁻ 形成的. 由于存在衬底载流子的吸收, 因此光损耗比较高. 随着应变 SiGe 材料在研制异质结晶体管(HBT)方面获得的巨大成功, 有人开始用它制作光波导. 这种 SiGe/Si 和 Si/SiGe/Si 结构在形成时无任何掺杂过程, 因此, 得到了损耗低于 1 dB/cm 易于与单模光纤耦合的光波导^[1]. 为 SiGe 材料的光电器件的研制展示了良好的前景.

本文采用分子束外延方法生长的 SiGe/Si 制作出低损耗脊形波导用它研制出 X 型光分支器. 设计中采用了二维标量光束传输法(BPM)结合有效折射率法(EIM)对 X 型交叉波导传输特性的分析结果. X 型光分支器的实现验证了理论分析和设计的可靠性.

2 理论分析

为了保证 X 型光分支器的单模传输, 根据脊形波导大截面理论, 其结构尺寸应满足以下条件^[2]:

$$\frac{a}{b} \leq \left(\frac{q + 4\pi b}{4\pi b} \right) \frac{1 + 0.3 \sqrt{\left(\frac{q + 4\pi b}{q + 4\pi r b} \right)^2 - 1}}{\sqrt{\left(\frac{q + 4\pi b}{q + 4\pi r b} \right)^2 - 1}} \quad (r \geq 0.5)$$

* 西安理工大学委培博士生.

收稿日期: 1994年3月29日; 收到修改稿日期: 1994年5月2日

式中: $r = (b - h)/b$, 式中的结构参数如图 1 所示. 对于 $\text{Si}_{0.9}\text{Ge}_{0.1}/\text{Si}$ 结构的脊形波导, $n_0 = 1.0$, $n_1 = 3.6$, $n_2 = 3.5$; $q = 1.48$ (入射光为水平方向偏振光), $q = 1.14$ (入射光为垂直方向偏振光) 若 SiGe 生长厚度 $b = 2 \mu\text{m}$, 腐蚀深度控制在 $r = 0.8$, 由上式可得: $a \leq 4 \mu\text{m}$. 为了得到稳定的单模输出. 设计波导长度为 6 mm . 在保证分支脊

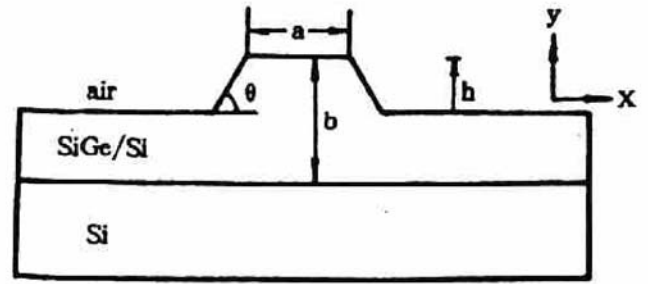


Fig. 1 Cross-section of SiGe rib waveguide

形波导满足单模条件基础上, 利用本课题组已报道的^[3]用二维标量光束传输法(BPM)结合 EIM 方法对 X 型交叉波导传输特性分析的结果, 引入 SiGe 结构的折射率, 令输出分支输出的光功率 P_3 与 P_4 相等, 从而确定交叉波导的交叉角, 保证实现光分支器的功能. 对于 SiGe 交叉波导, 当交叉角大于 2.5° 时, 损耗随交叉角的增加而趋于一个稳定的最小值.

3 X 型分支器的制作

为了制作 SiGe 脊形波导和 X 型光分支器, 首先在 $p^-(100)\text{Si}$ 衬底上生长 SiGe 合金. SiGe 生长是在复旦大学应用表面物理重点实验室进行的. 生长室的温度在 $400 \sim 600^\circ\text{C}$, 可按所生长薄膜的要求选择. 生长室的真空度为 $4 \sim 6.7 \times 10^{-9} \text{ Pa}$. 共生长出厚度为 $3 \mu\text{m}$; $x = 0.05$ 和厚度为 $2 \mu\text{m}$; $x = 0.1$ 两种不同组分和厚度的 SiGe 层, 为了降低晶格失配的影响, SiGe 层与衬底之间长有 100 nm 左右的缓冲层.

交叉波导的形成是采用 KOH 溶液化学腐蚀经过一般的光刻工艺来实现, 波导的脊宽和交叉角由版图图形决定. 在腐蚀过程中温度不宜过高, 以免在 SiGe 层产生不应有的缺陷. 交叉角设计为 2° 、 3° 等多种, 并在旁边陪设单条脊形波导留作检验单模特性使用. 图 2 为腐蚀形成的 X 型交叉波导的照片. 再通过切割, 研磨, 抛光对波导端面进行处理, 使之与光纤耦合有良好的光学界面. 图 3 是处理后拍下的波导端面照片. 可见由于各向异性腐蚀的作用, 波导的侧面与波导平面形成约 55° 的角度.



Fig. 2 Photograph of etched cross waveguide

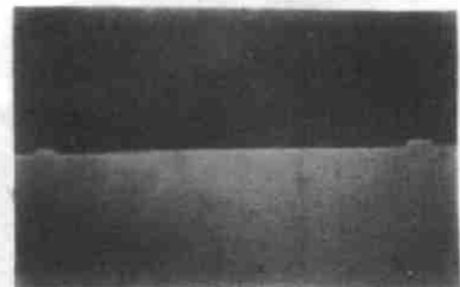


Fig. 3 Photograph of X branches polished facet

$b = 3 \mu\text{m}$; $a = 4 \mu\text{m}$; $h = 1 \mu\text{m}$

4 光学测量

测量系统是由半导体激光器输出波长为 $1.3 \mu\text{m}$ 的光束, 通过透镜聚焦到交叉波导的一个输入端面耦合进入波导, 从波导另一端输出的光, 通过透镜耦合到红外变像管和光电探测器上进行观察测量. 对陪衬单条波导的测量显示出单模特性. 用三个不同长度波导的输出光

功率测量计算得到光损耗为 0.5 dB/cm. 当输入光从交叉波导的一端输入, 从输出端通过红外变像管观察到两个明亮的光点, 两个光点的强度比单条波导透射的光点弱但强度相等. 说明已具备光分支器的功能. 图 4(a)为陪衬单条脊形波导输出光的近场模斑, 从中易看出为单模特性. 图 4(b)为交叉角为 3° 的 X 型光分支器输出近场模斑的照片. 图中的结构尺寸为: $b = 3 \mu\text{m}$; Ge 含量 $x = 0.05$, 脊宽 $a = 4 \mu\text{m}$; 脊高 $h = 1 \mu\text{m}$.

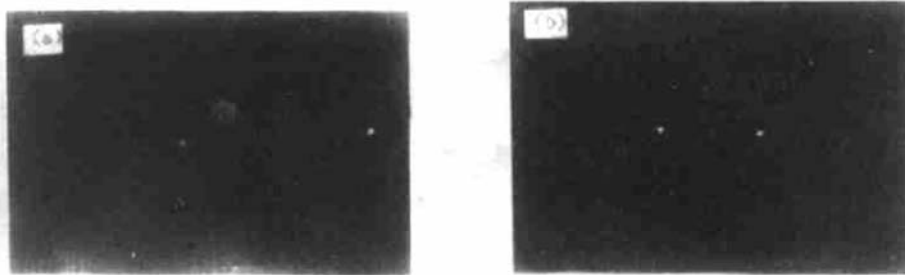


Fig. 4 (a) Near-field patterns of output light for waveguide

(b) Near-field patterns of output light for X branches

结 论 报道了在低损耗 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 脊形波导的基础上, 研制出 X 型分支器的工作. 它的实现验证了设计中采用的单模条件和交叉波导传输特性分析的可靠性, 为进一步利用 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 交叉波导研制光开关和光电调制器奠定了基础.

参 考 文 献

- [1] S. F. Pesarcik, G. V. Treyz, S. S. Iyer *et al.*, Silicon germanium optical waveguides with 0.5 dB/cm losses for singlemode fibre optic systems. *Electron. Lett.*, 1992, 28(2): 159~160
- [2] Richard A. Soref, Joachim Schmidtchen, Klaus Petermann, Large Single-Mode Rib Waveguides GeSi-Si and Si-on-SiO₂. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1991, 27(8): 1971~1974
- [3] 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, 14(3): 292~295

Fabrication of SiGe Rib Waveguides X Branches

Gao Yong Liu Enke Li Guozheng

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

Zhang Xiangjiu Lu Xuekun Wang Xun

(Applied Surface Physics National Key Laboratory, Fudan University, Shanghai 200433)

(Received 29 March 1994; revised 2 May 1994)

Abstract Based on the realization of low loss $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ single-mode rib waveguides, we developed the $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ "X" branches with the cross waveguides. These structures were fabricated from SiGe grown by molecular beam epitaxy (MBE). The branches demensions are determined by $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ large single-mode conditions and propagation features of the "X" cross waveguides using the beam propagation and effective index method.

Key words $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ hetero-junction, rib waveguide, branches.