

紫外写入技术制备光波导器件研究^{*}

吴远大[†] 夏君磊 安俊明 李建光 王红杰 胡雄伟

(中国科学院半导体研究所光电研发中心, 北京 100083)

摘要: 研究了采用 PECVD 方法生长的 Si 基 SiO₂ 波导材料的光敏特性. 经过高压载氢处理, 利用 KrF 准分子激光脉冲(工作波长为 248nm)在波导材料中诱导出的折射率变化量达到 0.005, 相对值约增加 0.34%. 详细研究了紫外光诱导出的折射率变化沿样品深度方向的分布情况. 最后, 采用紫外写入法在 PECVD 方法生长的 Si 基 SiO₂ 波导芯层中制备出了单模波导和 Y 分束器样品, 并观测到了通光现象, 实测结果与模拟结果一致.

关键词: 紫外写入; 折射率; 光波导; 分束器

EEACC: 1320

中图分类号: TN814⁺. 6

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2006)04-0744-03

1 引言

光子集成或光电子集成主要有两种途径, 即单片式集成与混合式集成. 就用于混合式光集成的无源光波导而言, SiO₂ 光波导因其本征损耗低、价格低廉、与石英玻璃通信光纤的兼容性好等优点而受到广泛的关注. SiO₂/Si 光波导典型的制作工艺是 FHD + RIE (或者 PECVD + RIE): 即用火焰水解法(或等离子增强化学气相沉积法)先在单晶硅衬底上淀积厚 SiO₂ 下包层和掺 Ge 的 SiO₂ 波导芯层后, 采用 RIE 或者 ICP 刻蚀出波导芯条, 然后再淀积一层 SiO₂ 厚膜作为上包层. 这种制作工艺完全是基于集成电路中的 CMOS 技术平台, 即在超净间里进行照像复印、反应离子刻蚀等复杂的工艺制作过程^[1-3]. 工艺成本高, 过程复杂是其主要缺点. 随着市场上光通信器件价格的一路走低, 越来越有必要寻找一种更经济、更便于操作的新工艺来制作 SiO₂/Si 条形光波导及其相关集成光器件.

近年来, 对光学敏感性的光波导制备技术研究有了很大的进展, 利用紫外写入法在光纤上制作光栅的技术已经相当成熟, 并且得到了广泛的应用^[4,5]. 利用紫外写入法在掺杂 GeO₂ 的 SiO₂ 厚膜玻璃上制作条形波导的技术在国外也有了许多报道^[6,7]. 这些技术都是利用了纤芯或 SiO₂ 厚膜中 Ge 对紫外光的敏感性(即 GeO₂ 在 5.0eV 或说 242nm 附近存在一个很强的吸收带), 即在紫外光的作用下, 光纤纤芯或掺 Ge 的 SiO₂ 厚膜中的折射率会发生显著变化这种原理制备的^[8]. 利用紫外写入法制

作光波导具有制作成本低、操作方便、有利于降低波导损耗; 而且, 紫外光诱导法直接写入波导, 可以通过控制光斑尺寸和扫描过程来调节波导芯的宽度和折射率分布台阶参数, 这对大规模平面光路的各种布局设计以及对光路的局部进行再加工等都是非常有利的.

本实验采用 KrF 准分子脉冲激光辐照 PECVD 法制备的 GeO₂-SiO₂ 薄膜, 获得的折射率变化相对值达到了 0.34%. 并且, 通过硅掩模在硅基 SiO₂ 平面波导中制备出了单模条形光波导和 1 × 2 波导型分束器.

2 实验

采用 PECVD 法在单晶硅片上生长两层 SiO₂

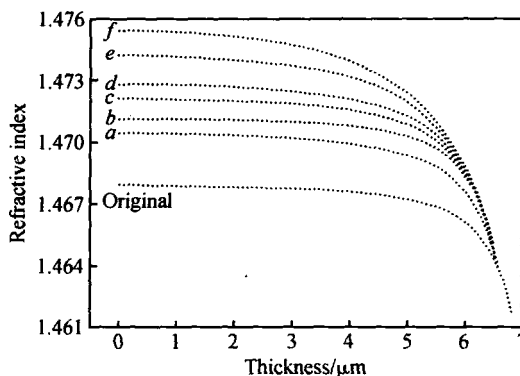


图 1 折射率沿深度方向的分布情况

Fig. 1 Refractive index profile of the films in different thickness

^{*} 国家自然科学基金资助项目(批准号: 60477035, 60507006)

[†] 通信作者. Email: wuyuanda@red.semi.ac.cn

2005-06-17 收到, 2005-12-05 定稿

薄膜,形成平面光波导结构,其中,下包层中掺入了少量的 P 和 B,厚度约为 $15\mu\text{m}$;上层为芯层,厚度约为 $5.5\mu\text{m}$,除了掺入了少量的 P 和 B 外,还掺入了摩尔含量为 7.5% 的 GeO_2 (薄膜中 Ge 和 Si 的原子比).为了增强 $\text{GeO}_2\text{-SiO}_2$ 薄膜的光敏性,把波导材料放在氢气罐中进行高压处理,氢气压力为 $1.3 \times 10^7 \text{ Pa}$,处理时间为 14 天.使用的 KrF 准分子激光器工作波长为 248nm ,单脉冲能量密度为 $110\text{mJ}/\text{cm}^2$,脉冲频率为 20Hz .

3 结果与讨论

利用 KrF 准分子激光脉冲大面积照射高压氢气处理后的 $\text{GeO}_2\text{-SiO}_2$ 薄膜表面,通过控制不同的照射时间来研究材料的光敏特性.材料光照前后的折射率通过棱镜耦合仪 (Model 2010 Prism Coupler) 可测试出.图 1 是不同光照时间下 (时间间隔为 5min) 材料折射率沿深度方向的分布情况,曲线

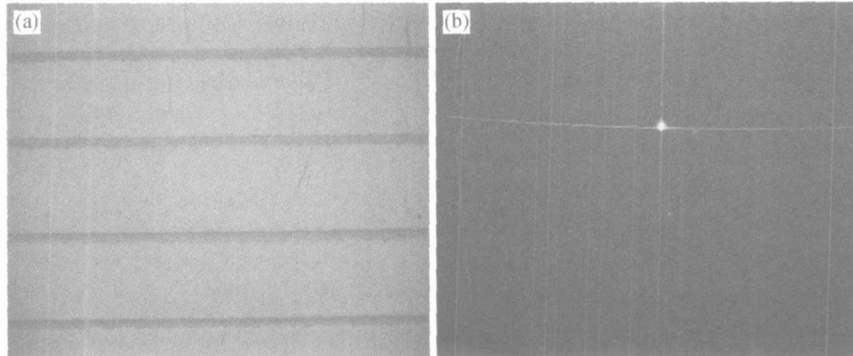
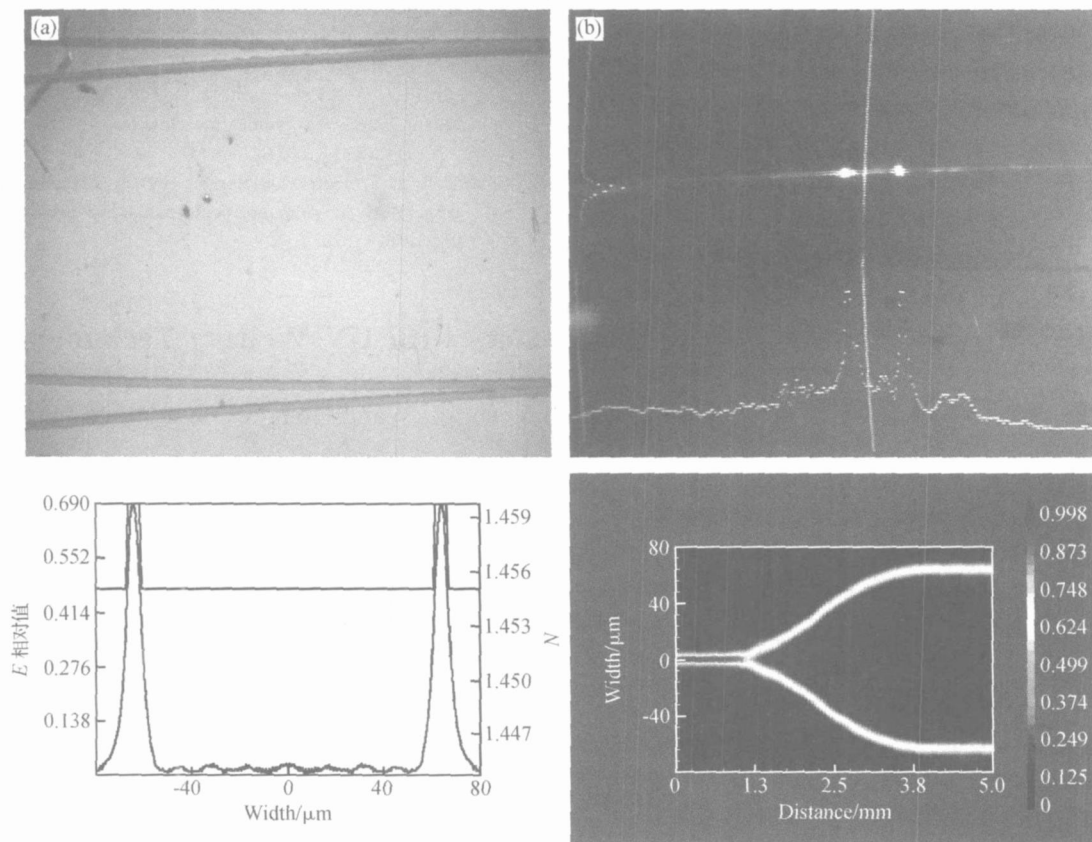


图 2 紫外写入法得到的单模波导 (a) 单模波导阵列照片; (b) 单模波导通光照片

Fig. 2 Single-mode waveguides fabricated by UV-writing technology (a) Photograph of single-mode waveguide (b) Photograph of light spot in the single-mode waveguide



(d)

图 3 紫外写入法制备的 Y 型波导分束器 (a) Y 型波导分束器照片; (b) 分束器的二维 PBM 模拟结果; (c) 分束器实测结果
Fig. 3 Y-splitter fabricated by UV-writing technology (a) Photographs of Y-splitters; (b) Simulated results of Y-splitter; (c) Photographs of light spot in the Y-splitter

a, b, c, d, e, f 对应的光照时间分别为 5, 10, 15, 20, 25 和 30min, 在波长 632.8nm 处的折射率分别为 1.4702, 1.4709, 1.4715, 1.4721, 1.4730 和 1.4739, 紫外光照以前的折射率为 1.4680. 从图中可以看出, 当紫外光照时间为 25 和 30min 时, 折射率变化相对值达到了 0.34% 和 0.40%. 因为紫外光在 $\text{GeO}_2\text{-SiO}_2$ 薄膜中存在一定的吸收, 所以折射率沿深度方向的分布有所下降. 延长紫外光照时间, 当折射率达到“饱和”以后, 这一问题可能得到改善.

利用 KrF 准分子激光脉冲, 按以上条件通过硅掩模板 (带有单模波导和 Y 分束器图案) 对高压处理后的 SiO_2 平面光波导进行照射, 光照时间为 25min, 即可在 SiO_2 平面光波导中写入折射率变化的单模光波导和 Y 型波导分束器. 图 2 (a) 和 (b) 分别是采用紫外写入法得到的单模波导阵列和单模波导通光照片. 其中, 单模波导宽度为 $8\mu\text{m}$. 从图 2 (b) 中可以看出, 波导的 x, y 两个方向都是单模, 因此可以确定得到的是单模波导结构.

图 3 是采用紫外写入法得到的 Y 型波导分束器、模拟结果和分束器通光照片. 输入、输出波导宽度均为 $8\mu\text{m}$, 锥形区长度为 $600\mu\text{m}$, 弯曲波导长度 $3500\mu\text{m}$, 输出波导间距 $127\mu\text{m}$. 图 3 (a) 是紫外写入法制备的 Y 型波导分束器照片; 图 3 (b) 是该分束器的光场二维 BPM 模拟结果; 图 3 (c) 是分束器的实际测试结果. 从图中可以看出, 该分束器的功率分配比较均匀.

4 结论

本实验采用 KrF 准分子激光脉冲在 PECVD

法生长的硅基 $\text{GeO}_2\text{-SiO}_2$ 平面波导芯层中直接诱导出了单模条形光波导和 1×2 波导型分束器. 紫外光诱导的折射率变化相对值达到了 0.34%. 该方法具有设备便宜、成本低、便于操作、适合大规模生产等潜在优势.

参考文献

- [1] Kawachi Masao. Silica waveguides on silicon and their application to integrated-optic components. *Optical and Quantum Electronics*, 1990, 22(5) : 391
- [2] Gao Dingshan, Li Jianguang, Wang Hongjie, et al. Flame hydrolysis deposition of germanium doped silica on silicon substrate. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2004, 25(6) : 674 (in Chinese) [郜定山, 李建光, 王红杰, 等. Si 基片上掺 Ge SiO_2 的火焰水解法制备. *半导体学报*, 2004, 25(6) : 674]
- [3] Valette S. State of the art of integrated optics technology at LETI for achieving passive optical components. *Journal of Modern Optics*, 1988, 35(4) : 993
- [4] Wei Zhanxiang, Yu Yongsen, Xing Hua, et al. Fabrication of chirped fiber grating with adjustable chirp and fixed central wavelength. *IEEE Photonics Technol Lett*, 2001, 13(8) : 821
- [5] Kim Sungchul, Kim Seungwoo, Kwon Jaejoon, et al. Fiber bragg grating strain sensor demodulator using a chirped fiber garting. *IEEE Photonics Technol Lett*, 2001, 13(8) : 839
- [6] Svalgaard M. Direct UV writing of buried singlemode channel waveguides in Ge-doped silica films. *Electron Lett*, 1994, 30(17) : 1401
- [7] Svalgaard M, Kristensen M. Directly UV written silica-on-silicon planar waveguides with low loss. *Electron Lett*, 1997, 33(10) : 861
- [8] Kelly D S, George I S, Barrett G P, et al. Photosensitivity of solgel-derived germanosilicate planar waveguides. *Opt Lett*, 1993, 18(1) : 25

Fabrication of Optical Waveguide Devices with UV-Writing Technology^{*}

Wu Yuanda[†], Xia Junlei, An Junming, Li Jianguang, Wang Hongjie, and Hu Xiongwei

(*Research and Development Center for Optoelectronics, Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China*)

Abstract: The photosensitivity of commercial Si/SiO₂ waveguide materials prepared by PECVD is studied. After exposure to high-pressure hydrogen, the as-deposited films are irradiated with excimer-laser pulses operating at 248nm. The change in the induced relative refractive index is about 0.34%. The sectional index distribution of UV-writing waveguides is investigated in detail. Finally, single-mode optical waveguides and Y-splitters are fabricated from silica-based planar optical waveguides with UV-writing technology with a silicon mask. The test results agree with the simulation results.

Key words: UV-writing; refractive index; optical waveguide; optical splitter

EEACC: 1320

Article ID: 0253-4177(2006)04-0744-03

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Nos. 60477035, 60507006)

[†] Corresponding author. Email: wuyuanda@red.semi.ac.cn

Received 17 June 2005, revised manuscript received 5 December 2005