

文章编号: 0253-2239(2003)05-0572-03

光波导覆层热膨胀系数对应力双折射影响的分析

金永兴^{1,2} 吕俊¹ 吕翔¹

(1 浙江大学光电系, 光及电磁波中心, 杭州 310027)
(2 中国计量学院激光技术研究所, 杭州 310034)

摘要: 用有限元方法计算了硅基光波导器件的应力, 得到由应力引起的双折射, 从理论上分析了内应力对器件偏振特性的影响。得出结论: 硅基与其它层材料热膨胀系数的不同, 是引起芯区双折射的主要因素, 通过掺杂、调整覆层的热膨胀系数, 可以得到双折射系数较小的光波导。

关键词: 导波光学; 应力; 双折射; 平面光波导

中图分类号: TN814 文献标识码: A

1 引 言

硅基平面光波导有许多优点: 硅基底器件的插入损耗较低^[1], 与光纤耦合效率高等。但一个主要存在问题是应力双折射现象, 这主要是由硅基底和二氧化硅的热膨胀系数相差很大, 在退火冷却过程中存在内应力而引起的, 而且其对波导的偏振特性影响较大, 是在实际应用中必须要解决的问题。在阵列波道光栅 (Arrayed waveguide grating, 简称为 AWG) 器件中, 提出了许多偏振补偿的方法, 如在阵列波道光栅中部插入一个半波片^[2]; 相邻衍射级的匹配, 使 TE 和 TM 模分别用不同的衍射级^[3]; 采用应力槽等方式^[4]。本文针对硅基二氧化硅光波导, 来分析一下材料的热膨胀系数与偏振之间的关系。

2 基本理论

在硅基材料上生长二氧化硅, 由于硅和二氧化硅两种材料的热膨胀系数差别很大, 光波导沿正交方向的应力不相等, 由光弹效应引起的该两方向的折射率不相等, 从而形成快轴和慢轴, 双折射现象会对光波导带来许多不利的影响, 在器件中存在偏振色散和偏振噪声等, 所以需要对其芯层中心应力分布进行模拟计算, 分析如何能减小芯区应力双折射。

图 1 是我们模拟的典型硅基二氧化硅光波导的截面图, 有四层组成: 硅基底、缓冲层、芯层和覆层。

取 z 轴为传播方向, y 轴与硅基底面垂直, x 轴为水平方向, 芯层的尺寸为 $6 \mu\text{m} \times 6 \mu\text{m}$ 。

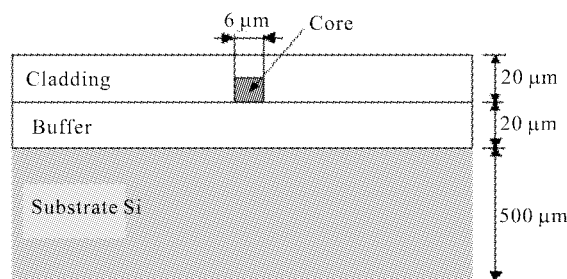


Fig. 1 Cross section of optical waveguide

对于各向同性材料, 若光波导横向受压, 其正交方向 x, y 方向的折射率变化为^[5,6]

$$\Delta n_x = n_x - n = -B_2 \sigma_x - B_1 (\sigma_y + \sigma_z),$$

$$\Delta n_y = n_y - n = -B_2 \sigma_y - B_1 (\sigma_x + \sigma_z).$$

在纯二氧化硅中, 光弹系数:

$$B_1 = (1 + \mu) n^3 P_{11} / 2E,$$

$$B_2 = (1 + \mu) n^3 P_{12} / 2E,$$

则应力引起的正交方向折射率变化差为

$$\Delta n = \Delta n_x - \Delta n_y = (B_1 - B_2) (\sigma_x - \sigma_y), \quad (1)$$

式中 n 为材料的折射率, E 为杨氏模量, μ 为泊松比, σ_x, σ_y 和 σ_z 为分别为横向 x, y 和 z 方向的应力, P_{11} 和 P_{12} 为材料的应变弹性系数。

表 1 是计算波导应力中所用到的参量^[7], 其中覆层的热膨胀系数是一个变量, 同时我们取温度的变化量为 $1000 \text{ }^\circ\text{C}$, 也就是退火到室温时温度变化 $1000 \text{ }^\circ\text{C}$, 二氧化硅的应变弹性系数 P_{11} 和 P_{12} 取值分别为 0.12 和 0.27。

E-mail: jyx@cocr.zju.edu.cn

收稿日期: 2002-03-06; 收到修改稿日期: 2002-04-16

Table 1 Mechanical properties of the waveguide

Material	Young modulus/	Poisson ratio	Thermal expansion/
	GPa		($\times 10^{-6}$ K)
Cladding	65	0.17	Variable
Core	70	0.17	1.2
Buffer	72.5	0.17	1.2
Substrate	130	0.279	3.6

3 理论计算及讨论

我们用有限元法^[8]来计算平面应力问题, 取的计算区域是 $540 \mu\text{m} \times 60 \mu\text{m}$ 。图 2 是覆层的热膨胀系数为 $2.0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 时, 在芯层中心沿 x 轴的应力分布图, 从图中可以看出, 中心区 σ_x 和 σ_y 的相差很大。图 3 是覆层的热膨胀系数为 $3.45 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 时芯层中心沿 x 轴的应力分布图, 从图中可以看出, 这时中心区 σ_x 和 σ_y 基本相等。

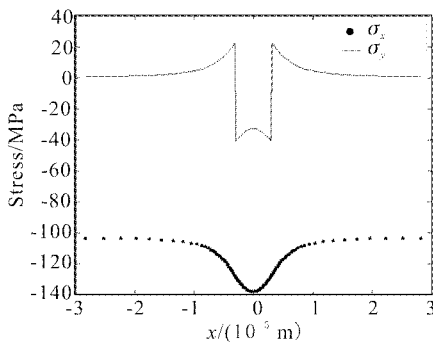


Fig. 2 Stress distribution across the center of core in x direction

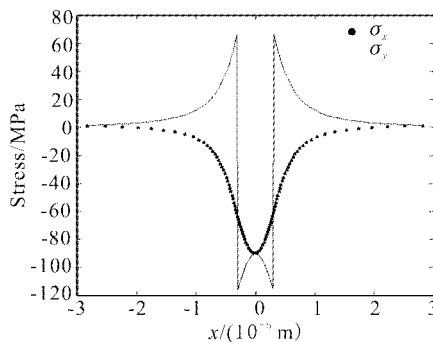


Fig. 3 Stress distribution across the center of core in x direction

我们得到两种情况下的折射率差, 当热膨胀系数为 $2.0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 时, 得到的折射率差为 $4.0 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$; 热膨胀系数为 $3.45 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 时, 折射率差为 $-1.6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, 从中可以得到, 覆层的热膨胀系数的变化, 对芯层中心的折射率差影响很大。图 4 是计算得到覆层的热膨胀系数从

$1.6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 的增加到 $3.6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 时计算出的折射率差, 从图 4 中可以得到, 折射率差为零时, 覆层的热膨胀系数在 $3.4 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 与 $3.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 之间, 也就是说只要把覆层的热膨胀系数控制在这之间, 芯层中心的应力双折射应是比较小, 而这在波导制作过程中应是可以做到的。

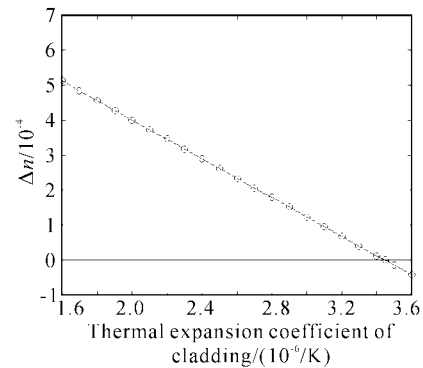


Fig. 4 Refractive index change for various thermal expansion coefficient of cladding

结论 通过对平面光波导的应力计算分析, 可以得到结论: 应力双折射主要是波导各层材料的热膨胀系数不匹配而引起的, 尤其是覆层的热膨胀系数影响最大, 所以通过改变覆层的热膨胀系数, 改善芯区的双折射。目前在气相沉积法 (CVD) 或火焰水解法 (FHD) 制作平面波导的方法中, 可以通过在二氧化硅中通过磷和硼等掺杂, 使覆层的热膨胀系数与硅基底相匹配。

参 考 文 献

- 1 Kominato T, Ohmor Y, Okazaki H *et al.*. Very low-loss GeO_2 -doped silica waveguides fabricated by flame hydrolysis deposition method. *Electron. Lett.*, 1990, **26** (2):327~329
- 2 Inoue Y, Ohmori Y, Kawachi M *et al.*. Polarization mode converter with polyimide half waveplate in Silica-based planar lightwave circuits. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1994, **6**(5):626~628
- 3 Spiekman L H, Amersfoort M R. Design and realization of polarization independent phased array wavelength demultiplexers using different array orders for TE and TM. *J. Lightwave Technol.*, 1996, **14**(6):991~995
- 4 Nadler C K, Wildermuth E K, Lanker M. Polarization insensitive, low-loss, low-crosstalk wavelength multiplexer modules. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1999, **5** (5):1407~1411
- 5 Fan Chongcheng, Peng Jihu. *Waveguide Optics* (导波光学). Beijing: Beijing Science and Technology University Press, 1988. 217~222 (in Chinese)
- 6 Ou Haiyan, Lei Hongbing, Yang Qinqing *et al.*. Theoretical analysis on polarization characteristics of

- silicon-based silica optical waveguide devices. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2001, **21**(1):122~124 (in Chinese)
- 7 Wortman J J, Evans R A. Young's modulus, shear modulus and Poisson's ratio in silicon and germanium. *J. Appl. Phys.*, 1965, **36**(1):153~156
- 8 Saitoh K, Koshihara M, Tsuji Y. Stress-analysis method for optical waveguides composed of elastically anisotropic materials and its application to strain-induced optical waveguides. *J. Lightwave Technol.*, 1999, **17**(2):255~259

Analysis of Relation between Thermal Expansion Coefficient of Cladding and Stress Birefringence of Optical Waveguide

Jin Yongxing^{1,2} Lü Jun¹ Lü Xiang¹

- 1 Center for Optical and Electromagnetic Research, Department of Optical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027
- 2 Institute of Laser Technology, China Institute of Metrology, Hangzhou 310034

(Received 6 March 2002; revised 16 April 2002)

Abstract: The residual thermal stress distribution is evaluated in the silicon-based silica optical waveguide with finite element method and the stress birefringence is obtained. The influence of stress on polarization is analyzed. It is concluded that birefringence is induced mainly by the different expansion coefficient between the substrate and glass layers. The birefringence-free planar optical waveguide can be obtained by increasing the level of dopants to match the thermal expansion coefficient of glass layers to that of the substrate.

Key words: guiding wave optics; stress; birefringence; planar optical waveguide