

PbBr₂ 晶体的折射率研究*

任 彦 宦 晖 丁兰英 安希书 魏爱俭

陈福生 程瑞平

(山东大学光学系, 济南 250100)

(山东大学晶体材料研究所, 济南 250100)

摘 要 本文报道了 PbBr₂ 晶体折射率主轴的方位和它的主折射率的测量.

关键词 溴化铅晶体, 晶体的折射率.

1 引 言

PbBr₂ 晶体是一种引人注目的新型的声光材料. 近几年来, Singh 等人^[1~3]一直在探讨和研究有关 PbBr₂ 单晶的原料提纯、生长方法及晶体的光学与声学特性. 他们曾报道了 PbBr₂ 晶体的透光范围为 0.4~30 μm^[1], 在晶体的[010]方向有低有声速和大的声光系数, 其声光优值 M_2 为 550^[3]. 目前, 尚未见到有关 PbBr₂ 晶体的折射率的报道. 最近, 作者采用坩埚下降法成功地培养了 $\phi 25 \times 35$ mm³ 的 PbBr₂ 单晶, 确定了 PbBr₂ 晶体折射率主轴的方位, 测量了其主折射率, 并据此计算了其光轴角和晶体折射率的色散系数.

2 PbBr₂ 晶体的折射率

PbBr₂ 晶体属正交晶系, mmm 点群, 其晶胞参数为 $a = 0.8062(1)$ nm, $b = 0.95393(13)$ nm, $c = 0.47348(6)$ nm, $V = 0.364134$ nm³, $z = 4$, 密度 $\rho = 6.695$ g/cm³. 根据布拉格方程, 由晶胞参数计算了 PbBr₂ 晶体的一系列微观面网对于 Cu 的 $k_{\alpha 1}$ 辐射($\lambda = 0.1540598$ nm)的衍射角 θ (其部分数值列于表 1 中), 并采用 yx-2 型 X 射线定向仪经反复测量, 确定了晶体的解理面

Table 1 The diffraction angle of PbBr₂ crystal

dA	I/I ₁	hkl	θ
2.385	28	010	18°50' 35"
2.367	45	001	18°59' 31"
2.016	8	100	22°28'

为(010)面, 生长面的(001)面. 晶体主要沿[001]方向生长, 这一点与 Singh 等人^[1]的判断一致. 继而根据正交晶系晶体的结晶学轴 x 、 y 、 z 与晶体的折射率主轴 x_1 、 x_2 、 x_3 对应, 从而确定 PbBr₂ 晶体的折射率主轴 $n_y(x_2)$ 平行于晶体的解理方向, $n_z(x_3)$ 平行于晶体的生长方向.

用最小偏向角法在可见光波长范围内测量了 PbBr₂ 晶体的三个主折射率, 并由此计算了光轴角 $2\Omega_+$ 的值. 测量

* 本研究得到国家 863 高技术计划和晶体材料国家重点实验室的资助

收稿日期: 1993年7月12日; 收到修改稿日期: 1993年10月11日

与计算的结果列于表 2. 然后用计算机拟合得到 PbBr_2 晶体的 Sellmeier 方程为

$$n_i = A + B/\lambda^2 + c/\lambda^4 \quad (i = 1, 2, 3)$$

式中 λ 以 $1 \times 10^{-1} \mu\text{m}$ 为单位, 而 $i = 1, 2, 3$ 分别对应于三个主折射率 n_1 、 n_2 和 n_3 . 这里, 为了与晶体光学研究工作中通常取 $n_3 > n_2 > n_1$ 的习惯相一致, 令 n_3 为 n_z , n_2 为 n_x , n_1 为 n_y . 其中, $n_3 - n_2 > n_2 - n_1$, 方程系数 A 、 B 、 C 列于表 3. 可见, PbBr_2 晶体为正光性双轴晶, 其光轴靠近折射率主轴 $n_z(x_3)$ 轴.

Table 2 The principal refractive indices and axial angle of PbBr_2 crystal

λ (μm)	n_1	n_2	n_3	$2\Omega_+$
0.43584	2.64474	2.700995	2.80668	$74^\circ 40'$
0.50157	2.54167	2.589815	2.68282	$73^\circ 41'$
0.54607	2.47183	2.514240	2.59870	$72^\circ 41'$
0.58930	2.43866	2.475655	2.55952	$69^\circ 7'$

Table 3 The coefficients of sellmeier equation of PbBr_2 crystal

	A	B	C
n_1	2.129	1.159×10^{-1}	-3.397×10^{-3}
n_2	2.118	1.375×10^{-1}	-5.049×10^{-3}
n_3	2.192	1.370×10^{-1}	-3.816×10^{-3}

PbBr_2 晶体具有大的声光系数, 高的折射率, 低的声波传播速度, 及宽的光谱透过范围, 并容易获得大尺寸单晶, 它是制造各种优质声光器件的理想材料. 本研究所得到的结果为 PbBr_2 晶体声光器件的设计提供了可靠的依据.

参 考 文 献

- [1] N. B. Singh, M. Gottlieb, J. J. Conroy *et al.*, Lead (I) halides; a new class of acousto-optic and electro-optic materials. *J. Crystal Growth*, 1988, **87**(1): 113~117
- [2] N. B. Singh, M. Gottlieb, T. Henningsen *et al.*, Effect of growth conditions on the quality of lead bromide crystals. *J. Crystal Growth*, 1992, **123**(1/2): 227~235
- [3] N. B. Singh, M. Gottlieb, T. Henningsen *et al.*, Growth and characterization of lead bromide crystals. *J. Crystal Growth*, 1992, **123**(1/2): 221~226

Study on the Refractive Indices of PbBr_2 Crystal

Ren Quan Huan Hui Ding Lanying

An Xishu Wei Aijian

(Department of Optics, Shandong University, Jinan 250100)

Chen Fusheng Cheng Ruiping

(Institute of Crystal Materials, Shandong University, Jinan 250100)

(Received 12 June 1993; revised 11 October 1993)

Abstract The orientation of the principal refractive axis of PbBr_2 crystal has been determined and its principal refractive indices have been measured.

Key words lead bromide crystal, refractive indices of crystals.

SOI 梯形大截面单模脊形波导的研制*

赵策洲** 刘恩科 李国正

(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 SOI 单模梯形大截面脊形波导的研制. 对于波长为 $1.3 \mu\text{m}$ 的光, 这种脊形波导的传输损耗小于 0.85 dB/cm .

关键词 SOI, 脊形波导, 集成光学.

1 引 言

目前形成 SOI (Silicon on insulator) 的方法基本上有三种, 即硅片直接键合法^[1], 氧注入隔离法^[2]和外延横向生长法^[3]. 硅片直接键合技术是将镜面平整的两硅片面对面重合, 在高温下退火形成化学键合. 键合硅片的一面减薄即可制成 SOI 结构. 该方法的 Si/SiO₂ 界面性能较其它二种方法为好, 硅膜保持本体的性能^[1], 而且缺陷密度低, 适合作高质量的波导^[4]. 根据硅片直接键合法制成的 SOI 波导的优点和 SOI 波导芯 (Si) 与两侧限制层 (SiO₂ 和空气或 SiO₂ 和 SiO₂) 的折射率相差很大的特点, 作者制成了传输性能很好的梯形大截面脊形波导.

2 理论分析

对于只传输基模的脊形波导, 人们往往假设脊形截面的尺寸与同材料的平面波导厚度相当^[5], 若将平面波导的截止特性应用于 SOI 脊形波导的 y 方向, 则导波层厚度将进入 10^{-5} cm 量级, 而一般单模光纤的尺寸约 10^{-4} cm , 这样使得光从光纤到波导的耦合过程中损耗很大^[6]. 幸运的是, 这一假设并不成立^[7,8], 只要适当地选择波导的宽高比 (a/b), 对截面尺寸为 10^{-4} cm 的波导, 只在其中传输基模也是可能的, 即大截面脊形波导的单模条件为^[8]:

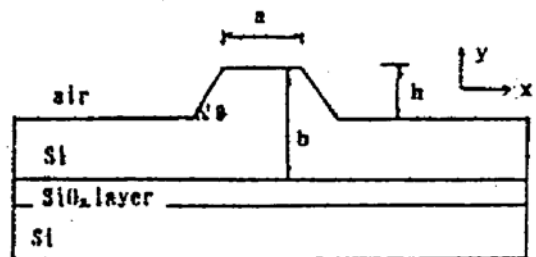


Fig. 1 SOI rib waveguide

* 国家 863 基金及国家教委博士点基金资助项目.

** 现工作单位: 西安电子科技大学微电子所, 西安 710071.

收稿日期: 1994 年 2 月 23 日

$$\frac{a}{b} \leq 0.3 + \frac{r}{\sqrt{1-r^2}}, \quad r \geq 0.5, \quad a \leq 10 \mu\text{m}, \quad (1)$$

式中 $r = (b - h)/b$, h 如图 1 所示. 因此, 在单模波导设计中取 $a = 6 \mu\text{m}$, $b = 8 \mu\text{m}$, 则由(1)式可确定 $h = 4 \mu\text{m}$. 为了得到稳定的单模, 要求波导长度大于 $2000 \mu\text{m}$, 本文选为 $3000 \mu\text{m}$.

3 波导研制

将直接键合的硅片(两片的晶向都为 $\langle 100 \rangle$)的一面通过高精度研磨和抛光, 减薄到 $b = 8 \mu\text{m}$, 制成 SOI 结构. 该面掺杂浓度小于 10^{16}cm^{-3} , 其折射率 n_1 逼近本征硅的折射率 3.505, ($\lambda_0 = 1.3 \mu\text{m}$). SiO_2 的厚度为 $0.8 \mu\text{m}$ 左右. 基片氧化光刻后, 通过氢氧化钾液相($\text{KOH}:\text{H}_2\text{O} = 3:2$)各向异性腐蚀, 再去氧化层, 并对波导的两个端面进行抛光, 以便光纤直接耦合, 便形成了如图 1 所示的只能维持单模的梯形大截面脊形波导, 其 $\theta = 54.74^\circ$ [7]. 对该脊形波导的传输损耗进行测量, 对波长为 $1.3 \mu\text{m}$ 的光, 测得其平均传输损耗系数小于 0.85dB/cm , 且该波导能很好地与单模光纤耦合.

参 考 文 献

- [1] 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
- [2] 牛国富, 阮刚, 为 SIMOX SOI 结构的硅膜和二氧化硅埋层厚度模型. 半导体学报, 1993, 14(9): 573~578
- [3] 李映雪, 张旭光, 张美云等, 形成 SOI 结构的 ELO 技术研究, 半导体学报, 1992, 13(5): 287~292
- [4] A. F. Evans, D. G. Hall, 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
- [5] 刘育梁, 刘恩科, 梯形截面硅脊形波导的模式特性及其等离子体色散效应, 光学学报, 1991, 11(8): 727~732
- [6] R. M. Emmons, B. N. Kurdi, D. G. Hall, Buried-oxide silicon-on-insulator structures I: Optical waveguide characteristics, *IEEE J. Quant. Electron.*, 1992, QE-28(1): 157~175
- [7] J. Schmidtchen, A. Splett, B. Schuppert *et al.*, Low loss singlemode optical waveguides with large cross-section in silicon-on-insulator. *Electron. Lett.*, 1991, 27(16): 1486~1487
- [8] Richard A. Soref, Joachim Schmidtchen, Klaus Petermann, Large single mode rib waveguides in GeSi-Si and Si-on-SiO₂. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1991, QE-27(8): 1971~1974
- [9] B. L. Weiss, G. T. Reed, The transmission properties of optical waveguides in SIMOX structures. *Opt. & Quant. Electron.*, 1991, 23: 1061~1065

Fabrication of SOI Single-Mode Rib Waveguide with Large Trapezoidal Cross-Section

Zhao Cezhou Liu Enke Li Guozheng

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

(Received 23 February 1994)

Abstract A SOI(silicon-on-insulator) single-mode rib waveguide with large trapezoidal cross-section formed by SDB(silicon wafers direct bonding) process has been fabricated. And the SDB SOI rib waveguide losses are below 0.85dB/cm by measurements at a wavelength of $1.3 \mu\text{m}$.

Key words SOI, rib waveguide, integrated optics.