

晶体包层型光纤偏振器的理论分析

王 子 华

(上海科学技术大学光纤通讯研究所, 上海 201800)

提 要

本文对各向异性晶体包层型光纤偏振器进行理论分析。首先用外插法计算了五硼酸钾晶体在长波长范围的折射率, 接着以平面介质波导模型计算一侧包层被晶体包裹的光纤偏振器的消光比, 又以 W 光纤模型计算全部晶体包裹的光纤偏振器。最后将两种偏振器性能作了比较和讨论。

关键词: 单模光纤, 光纤偏振器。

一、引 言

光纤线内偏振器在相干光通信, 光纤干涉测量和光纤陀螺等方面有着广泛的用途。其原理基本上可分为两类: (1) 利用金属涂复的多层平面介质波导传输 TE_0 模和 TM_0 模的损耗不同或截止特性不同^[1]。(2) 利用各向异性晶体代替包层, 使某一偏振方向的光很好地导引, 而另一偏振的光导引条件被破坏^[2,3]。对于前者, 有许多文献进行了理论计算^[4], 而后者还未见详细的理论分析。

本文对各向异性晶体包层偏振器进行理论分析, 计算各种参数对消光比的影响, 供优化设计和工程制造参考。

二、五硼酸钾晶体折射率计算

为偏振器制作的需要, 要求晶体在一个方向的折射率略大于单模光纤纤芯的折射率, 而在另一个方向上又略小于纤芯的折射率, 目前满足这样要求的只有一种五硼酸钾晶体 ($KB_5O_8 \cdot 4H_2O$)。关于这种晶体的折射率, 文献[5]只报道了短波长区域的数值。文献[2]和

Table 1 Anisotropic refractive indices of potassium pentaborate at long wavelength region

Wave length (μm)	n_a	n_b	n_c
1.2	1.4770	1.4264	1.4136
1.3	1.4765	1.4260	1.4133
1.4	1.4762	1.4258	1.4130
1.5	1.4759	1.4256	1.4128
1.6	1.4757	1.4254	1.4126

[3] 则用 $\lambda=0.633\ \mu\text{m}$ 波长的折射率来代替长波长的折射率, 这里作了一个近似。为了进行精确的理论计算, 本文由文献[5]的 Sellmeier 方程出发, 用外插法计算了五硼酸钾晶体的长波长区域折射率, 列于表 1, 并用它计算和设计晶体包层偏振器。

三、平面介质波导模型光纤偏振器的计算

文献[2]报道的偏振器是将单模光纤一边磨去大部分包层, 然后将表面抛光的五硼酸钾晶体紧压在上面, 这样就构成了四层介质光波导结构, 近似地用平面波导模型进行理论分析, 如图 1 所示。设纤芯折射率 $n_1=1.46$, 直径 $2a$; 残留的包层折射率 $n_2=1.456$, 厚度 $b-a$ 。在 $1.3\ \mu\text{m}$ 波长时, 由表 1 查得晶体折射率对于 x 方向偏振是 $n_3=n_0=1.43$, 低于包层折射率 n_2 , 光仍然在光纤中导引, 近似无损耗。对于 y 方向偏振 n_3 随晶体走向变化, 在 $n_0=1.48$ 至 $n_c=1.41$ 之间, 当 n_3 高于纤芯折射率 n_1 时, 光在四层介质波导中以 TE_0 泄漏模传输, 由文献[2]给出的方程求得的传播常数为复数。光的泄漏损耗由传播常数的虚部 β_i 得到

$$2\alpha = 8.68\beta_i \quad (1)$$

y 偏振光的损耗系数近似等于偏振器消光比。

以 $n_1=1.46$, $n_2=1.456$, $n_3=1.47$, $2a=8\ \mu\text{m}$, $b-a=1\ \mu\text{m}$, $\lambda=1.3\ \mu\text{m}$ 为标准单模光纤及晶体参数, TE_0 漏模损耗系数随 $(b-a)$ 的变化曲线示于图 2(a), 随晶体折射率 n_3 的变化曲线示于图 2(b), 随 $2a$ 的变化曲线示于图 2(c)。

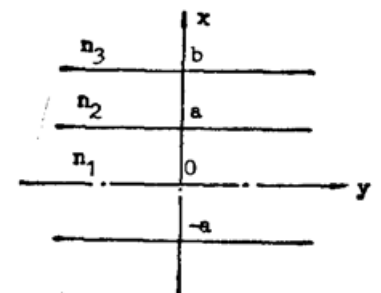


Fig. 1 Planar dielectric waveguide model for the polarizer with only one side crystal clad

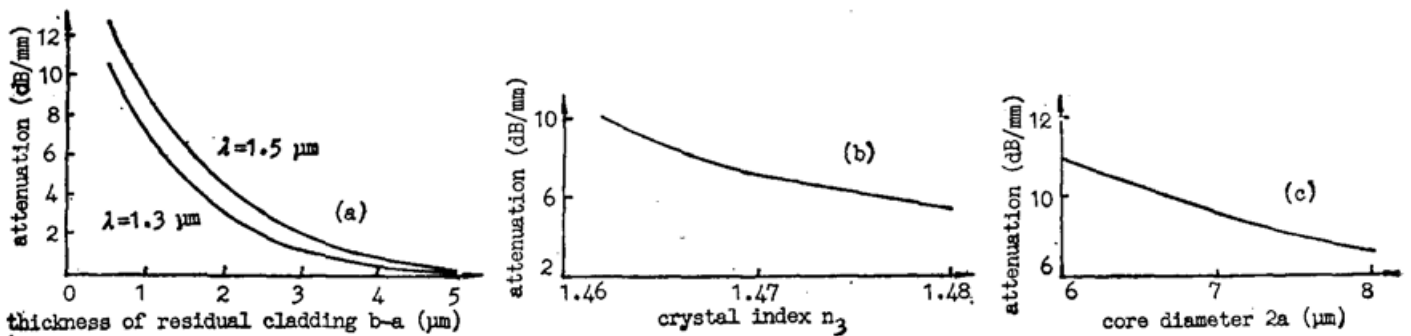


Fig. 2 Taking $n_1=1.46$, $n_2=1.456$, $n_3=1.47$, $2a=8\ \mu\text{m}$, $b-a=1\ \mu\text{m}$, $\lambda=1.3\ \mu\text{m}$ as normal parameters, attenuation coefficient 2α of the TE_0 mode as a function of (a) $b-a$, (b) n_3 , (c) $2a$

四、晶体包层型光纤偏振器的计算

文献[3]报道的光纤偏振器将原来单模光纤的包层用腐蚀方法去掉, 然后用晶体生长的方法将五硼酸钾晶体做成单模光纤的包层, 这样就制成了全部晶体包裹的单模光纤。由于工艺过程中原来的包层不一定全部腐蚀掉, 而且即使是阶跃折射率分布单模光纤, 芯纤与包层的边缘也不是很陡峭的, 所以实际偏振器结构是还有很薄一层残留包层, 形成 W 光纤如

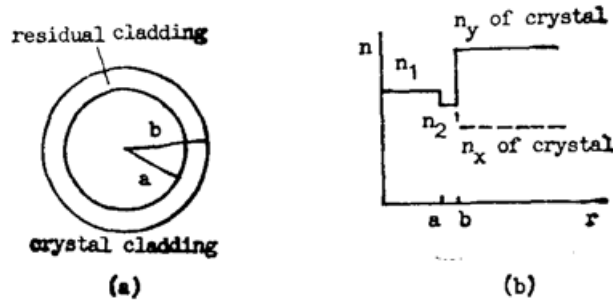


Fig. 3

- (a) W fiber model for all crystal clad polarizer
- (b) Anisotropic index profile of the W fiber

图 3(a)所示,相应的折射率分布如图 3(b)所示。设纤芯折射率还是 $n_1=1.46$, 直径 $2a$; 内包层折射率 $n_2=1.456$, 厚度 $b-a$; 外包层为各向异性的晶体, 对 x 方向偏振折射率为 $n_x=n_b=1.43$, 对于 y 方向偏振折射率 n_y 在 $n_a=1.48$ 至 $n_c=1.41$ 之间。由于 n_x 低于 n_2 , x 偏振光仍然在光纤中导引, 虽然可能有一到二个高次模, 但因偏振器很短, 其影响可不予考虑。选择晶体走向使 n_y 高于 n_1 时, y 偏振光在 W 光纤中以 LP_{01} 漏模传输。定义 $u=a(k_0^2 n_1^2 - \beta^2)^{1/2}$, $v'=b(\beta^2 - k_0^2 n_2^2)^{1/2}$ 及 $v=b(k_0^2 n_y^2 - \beta^2)^{1/2}$, 其中 β 是传播常数 k_0 是真空中传播常数。本征值方程为^[6]

$$\frac{[\hat{J}_0(u) - \hat{K}_0(v'c)] [\hat{H}_0^{(2)}(v) + \hat{I}_0(v')]}{[\hat{J}_0(u) + \hat{I}_0(v'c)] [\hat{H}_0^{(2)}(v) - \hat{K}_0(v')]} = \frac{I_1(v'c)K_1(v')}{I_1(v')K_1(v'c)} \tag{2}$$

$$\hat{Z}_0(x) = Z_0(x)/xZ_1(x), \tag{3}$$

其中, Z 代表贝塞耳函数 $J, H^{(2)}, I$ 和 K , 且 $c=a/b$ 。用数值方法求解复数方程式(2)得到 β , 再由(1)式得到 LP_{01} 漏模的损耗系数(也就是偏振消光比)。

同样以 $n_1=1.46, n_2=1.456, n_y=1.47, 2a=8 \mu\text{m}$ 内包层厚度 $(b-a)=1 \mu\text{m}$, 波长 $\lambda=1.3 \mu\text{m}$ 为标准光纤及晶体参数, W 光纤 LP_{01} 漏模损耗系数随 $(b-a)$ 的变化曲线示于图 4(a), 随晶体折射率 n_y 的变化曲线示于图 4(b), 随纤芯直径 $2a$ 的变化曲线示于图 4(c)。

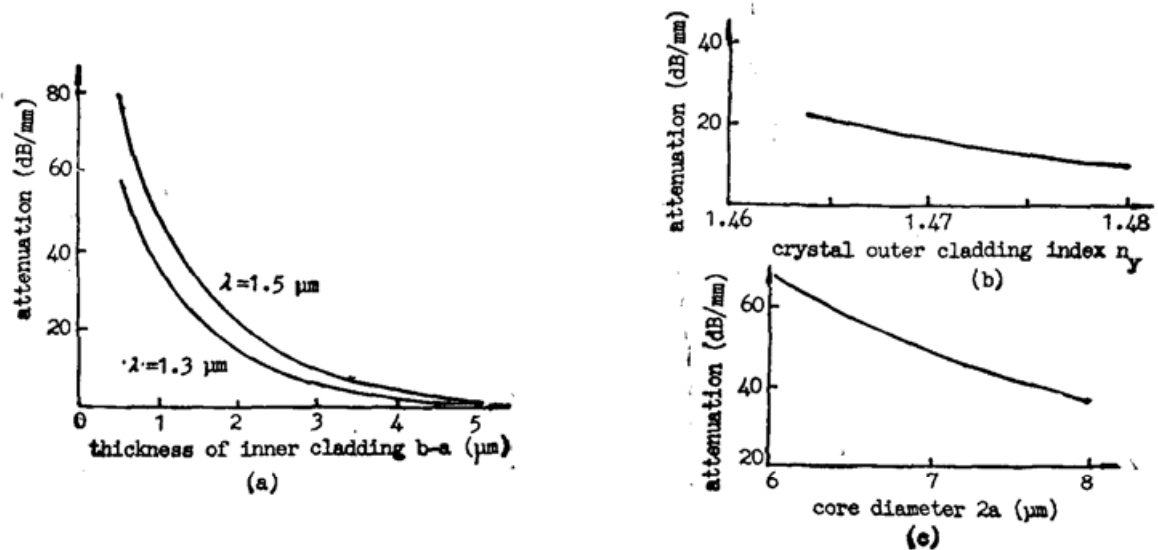


Fig. 4 Taking $n_1=1.46, n_2=1.456, n_y=1.47, 2a=8 \mu\text{m}, b-a=1 \mu\text{m}, \lambda=1.3 \mu\text{m}$ as normal parameters, attenuation coefficient 2α of the LP_{01} leaky mode as a function of (a) $b-a$, (b) n_y , (c) $2a$

五、讨 论

本文对两种晶体包层型光纤偏振器进行了理论分析, 它们的相同之处是: 结构与工作原理相同。由图 2 和图 4 所示的计算结果可见这两种偏振器消光比随光纤与晶体参数的变化规律也是一样的。消光比随 $b-a$ 的增加而迅速减小, 晶体折射率越接近纤芯折射率, 消光比越大。消光比还随 $2a$ 的增加而减小, 随波长的增加而增加, 这是因为单模光纤归一化频率 V 值随 $2a$ 的增加而增加, 随波长的增加而减小。 V 值越小, 场扩展到包层, 漏模损耗增加。此外, 作者还计算了消光比随纤芯与包层折射率差 Δ 的变化, $\Delta = (n_1^2 - n_2^2) / 2n_2^2$ 由 0.2% 变化到 0.4%, 消光比变化很小, 也就是说 Δ 对消光比影响不大。它们的不同之处是: 物理模型一个是多层平面光波导, 另一个是 W 光纤, 因而计算方法也截然不同。此外, W 光纤型偏振器的消光比远远大于平面光波导型偏振器(光纤与晶体参数相同的条件下比较)。

参 考 文 献

- [1] W. Eickhoff; *Electronics Letters*, 1980, **16**, No. 20 (Sep), 762~764.
- [2] R. A. Bergh *et al.*; *Optics Letters*, 1980, **11**, No. 11 (Nov), 479~481.
- [3] Z. H. Wang *et al.*; *Microwave and Optical Technology Letters*, 1991, **4**, No. 10 (Oct), 491~495.
- [4] C. Y. H. Jiao *et al.*; *Applied Optics*, 1988, **27**, No. 7 (Apr), 1316~1325.
- [5] W. R. Cook Jr., L. M. Hubby Jr.; *J. Opt. Soc. Am.*, 1976, **66**, No. 1 (Jan), 72~73.
- [6] M. Monerie; *IEEE J. Quantum Electronics*, 1982, **18**, No. 4 (Apr), 535~542.

Theoretical analysis of crystal clad fiber-optic polarizer

WANG ZIHUA

(Shanghai University of Science & Technology, Shanghai 201800)

(Received 8 July 1991; revised 6 August 1991)

Abstract

Theoretical analysis of crystal clad fiber-optic polarizer is presented in this paper. At first, the anisotropic refractive indices of potassium pentaborate at long wavelength region were determined. Then extinction ratio variations with the parameters of single mode fiber and crystal were calculated for the polarizer with only one side crystal clad by using planar dielectric waveguide model, and the whole crystal clad polarizer by using W fiber model. The comparison and the discussion of these two types of crystal clad fiber-optic polarizer have been made.

Key words: single mode fiber, fiber-optic polarizer.