

文章编号: 0253-2239(2003)09-1058-6

# 抗偏振温度变动的聚酰亚胺波导宽带耦合器\*

卢红亮<sup>1</sup> 陈抱雪<sup>1</sup> 赵德欣<sup>2</sup> 袁一方<sup>1</sup> 矾 守<sup>3</sup>

1 上海理工大学光电学院, 上海 200093

2 霓塔光电器件上海有限公司, 上海 200233

3 日本东京农工大学工学部应用化学系, 日本东京 184-8588

**摘要:** 提出了一种适合于宽带光波导耦合器的抗偏振变动、抗温度变动的优化设计理论和方法。使用该理论和方法, 在 1490~1610 nm 带域上, 对氟化聚酰亚胺光波导做了 3 dB 耦合器的消偏振和温度依存设计。器件经三维波束传播法(BPM)模拟运行验证, 结果表明, 120 nm 带宽上, 在 -10~40 °C 的环境下, 两个正交偏振态均实现了 (50±0.8)% 功率输出比的良好特性。

**关键词:** 高分子光波导; 抗偏振变动; 抗温度变动; 宽带耦合器

中图分类号: TN256 文献标识码: A

## 1 引 言

随着信息技术的迅猛发展, 对光通信网络的容量需求越来越大。波分复用(WDM)技术是提高光通信系统容量的有效手段之一, 以 1550 nm 为中心波长的密集波分复用(DWDM)技术已经广泛地应用在试验网络中。在密集波分复用技术中, 2×2 的 3 dB 宽带耦合器是实现分波/合波功能的非常重要的器件<sup>[1]</sup>。运用熔融拉锥法可以制备光纤型耦合器, 但工艺稳定性不好, 光路差的精确控制非常困难, 不适于大批量生产和集成化<sup>[2]</sup>。用 Si 基或石英基 SiO<sub>2</sub> 光波导结构制备的耦合器, 有十分优异的特性, 但工艺十分复杂, 成本昂贵。近年, 用高分子材料制作光波导器件受到了越来越多的关注<sup>[3~8]</sup>。与 SiO<sub>2</sub> 光波导相比, 高分子光波导的制作工艺简单得多, 可望大幅降低成本, 提高性价比。

比较典型的光学用高分子材料是聚甲基丙烯酸甲酯(Poly-methyl methacrylate, PMMA), 已被用于制备塑料光纤<sup>[9]</sup>和光波导<sup>[10]</sup>。虽然 PMMA 对可见光透明度很好, 但它的 C-H 键振动对长波长构成了吸收, 不适合 1550 nm 波段。一种改进的高分子材料是氟代聚甲基丙烯酸酯和氘代聚甲基丙烯酸酯的共聚物( $\delta$ -PFMA: deuterated poly-fluoro methacrylate), 在

$\delta$ -PFMA 中大部分的 H 被较重的原子 D 和 F 替代, 构成 C-D 键和 C-F 键, 使得吸收峰发生红移。用  $\delta$ -PFMA 制备的单模波导的近红外传输损耗可小于 0.1 dB/cm<sup>[10]</sup>。 $\delta$ -PFMA 的问题是玻璃化温度很低, 一般只能在低于 100 °C 环境下加工使用。考虑到光波导器件与半导体光源、探测器等同基集成封装时有 280 °C 以上的焊接工艺,  $\delta$ -PFMA 是不合适的。

近年来开发的氟化聚酰亚胺材料是一种比较理想的光波导用高分子聚合物<sup>[11]</sup>, 氟化聚酰亚胺有数种配制方法。在我们的实验中, 采用六氟丙烷二酐(6FDA)、二氨基二苯醚(ODA)与 2,2'-二(三氟甲基)-4,4'-联苯二胺(TFDB)的反应聚合来制备。氟化聚酰亚胺兼有了聚酰亚胺的耐高温特性和掺氟后的近红外吸收小的特点, 解决了上述材料的缺陷。但是, 和所有高分子聚合物一样, 氟化聚酰亚胺具有很大的折射率温度系数, 大约是石英的 20 倍。另一个问题是氟化聚酰亚胺存在折射率各向异性, 双折射率的典型值约为 0.01。由于 3 dB 宽带耦合器对相位差变动极为敏感, 氟化聚酰亚胺的折射率各向异性和温度特性构成了器件设计上的重大难题。在波导芯层中加入具有异号折射率温度系数的介质层, 从而抵消导波相位差对温度的依存性的工作已有报道<sup>[12]</sup>, 由于绝大多数高分子材料显示负的折射率温度系数, 该介质层限于使用具有正折射率温度系数的玻璃材料。由于波导芯层含有两种结构特征差异很大的材料, 用这种方法制备波导使膜系制备和反应离子蚀刻等工艺变得十分复杂。对于双折射

\* 国家自然科学基金(60177017)、上海市教委科技发展基金(2000H12)资助课题。

E-mail: bxchen@online.sh.cn

收稿日期: 2002-07-24; 收到修改稿日期: 2002-10-09

引起的偏振依存性问题,有报道采用插入  $1/2$  波长板的方法来解决<sup>[13]</sup>,这种方法要求在波导上开一个约  $20\ \mu\text{m}$  宽的槽,通过显微操作插入  $1/2$  波长薄膜。显然,上述两种方法都大大增加了工艺难度,损害了高分子光波导制备容易、成本低的特点。

为此本文提出了一种解决方案,给出了设计理论和方法。该方法不改变高分子光波导的制备工艺,通过对耦合器波导结构的优化,利用波导色散同时抵消偏振变动和温度变动对耦合器输出特性的影响。设计的器件经三维波束传播法(BPM)仿真运行,结果显示,该器件在  $1490\sim 1610\ \text{nm}$  带域上,在  $-10\sim 40\ ^\circ\text{C}$  的温度范围内,两个正交偏振态均维持了  $3\ \text{dB}$  功率耦合比,输出变动小于  $\pm 0.8\%$ 。

## 2 设计原理

氟化聚酰亚胺光波导宽带耦合器的平面图如图 1(a) 所示,由马赫-曾德尔干涉型波导回路构成。它由两个方向性耦合器( $C_1$  和  $C_2$ ) 经两条具有长度差  $\Delta L$  的波导臂相连而组成。两个方向性耦合器的平行段的长度分别为  $L_1$  和  $L_2$ 。由于在连接平行段两端的弯曲部分也发生光波的耦合,用某个等效耦合长度增量  $L_e$  来反映这个效应。 $A_{\text{in}}$  为入射光振幅, $A_{\text{out}}$  和  $B_{\text{out}}$  分别为两个输出端的出射光振幅。单一方向耦合器平行段的横截面如图 1(b) 所示, $S_1$  和  $S_2$  分别为两个方向性耦合器的平行段波导的间隔。设两支波导均为单模波导,具有相同的折射率,波导芯的截面尺寸相同,宽度和厚度分别为  $w$  和  $t$ 。则输出的功率耦合比  $\eta$  可表示成如下形式:

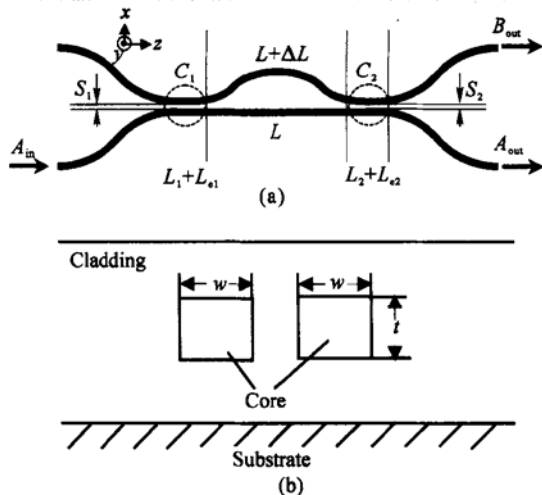


Fig. 1 (a) The construction of Mach-Zehnder interferometer type waveguide coupler used in the design; (b) Cross section of a directional coupler

$$\eta = \frac{|B_{\text{out}}|^2}{|A_{\text{out}}|^2 + |B_{\text{out}}|^2} = a^2 + b^2 + 2ab \cos(\beta \Delta L), \quad (1a)$$

$$a = \cos\left[\frac{\pi}{2L_{c1}}(L_1 + L_{e1})\right] \sin\left[\frac{\pi}{2L_{c2}}(L_2 + L_{e2})\right], \quad (1b)$$

$$b = \sin\left[\frac{\pi}{2L_{c1}}(L_1 + L_{e1})\right] \cos\left[\frac{\pi}{2L_{c2}}(L_2 + L_{e2})\right], \quad (1c)$$

式中  $L_{c1}$  和  $L_{c2}$  分别为两方向性耦合器的完全耦合长度,  $\beta$  为传播常量。

对于一个物理参量确定不变的光波导方向性耦合器,当使用波长被确定后,其输出端的功率耦合比的变动与两个因素有关,一个是方向性耦合器两输入端的两相干输入光的振幅比例,另一个是两相干输入光之间的相位差。图 1(a) 所示马赫-曾德尔干涉型波导回路的第一个方向性耦合器被用于产生两支具有一定振幅比例的相干光,  $\Delta L$  光路差结构被用于调整两支相干光的相位差。再经过第二个方向性耦合器获得期望的输出功率耦合比。由于方向性耦合器的完全耦合长度以及波导导模的传播常量具有随波长变动而变化的色散特性,因此通过对两个方向性耦合器以及其间的光路差结构的各个物理参数的优化设计,可以实现在某个波长范围内彼此间的色散互相抵消。从而在这个波长段,由这三部分结构组成的马赫-曾德尔干涉型波导回路的总色散被消除,输出功率耦合比不再依赖波长,维持恒定。我们已经报道了采用这种设计方法的  $\text{SiO}_2$  光波导宽带耦合器<sup>[14]</sup>。

### 2.1 温度依存性的消除

如上节所述,高分子聚合物的折射率温度系数的绝对值远大于  $\text{SiO}_2$ ,当环境温度变动时,高分子波导的折射率随之变动。虽然这种变动对波导芯与包层的相对折射率差的影响不大,但对波导的传播常量影响较大。传播常量的变动直接导致了相位差变动,结果使得耦合器的输出功率比随环境温度变动而发生漂移。作为例子,图 2 给出了一个氟化聚酰亚胺光波导宽带耦合器的数值结果,该器件的消色散设计采用了  $20\ ^\circ\text{C}$  时的折射率。此温度下,  $L_1$ 、 $L_2$  和  $\Delta L$  分别取  $1.800\ \text{mm}$ 、 $2.752\ \text{mm}$  和  $0.782\ \mu\text{m}$  时,  $E_{11}$  模的输出功率耦合比呈现平坦的波长特性;当温度变动  $\pm 20$  度时,输出功率耦合比出现了波长依存性。为了改善器件的温度特性,优化设计时除了考虑消色散以外,还必须同时考虑抗温度变化。

具体思想如下所述, 其间涉及的函数关系体现在熟知的模方程和方向性耦合器的耦合系数公式中, 限于篇幅不在此作具体展开。

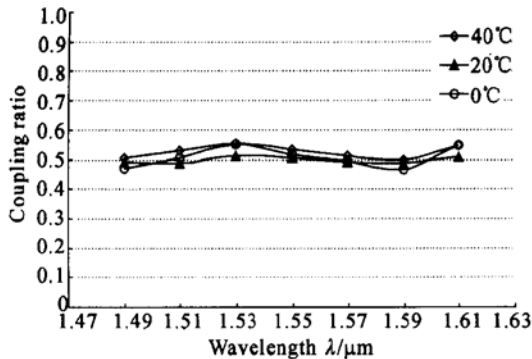


Fig. 2 An example of the numerical calculation for 3 dB waveguide coupler in fluorinated polyimide for  $E_{11}^+$  mode

设波导芯和周围包层的折射率分别为  $n_g$  和  $n_c$ , 由于波导色散,  $L_{c1}$ 、 $L_{c2}$  和  $L_{e1}$ 、 $L_{e2}$  分别为波长  $\lambda$ 、 $w$ 、 $t$ 、 $n_g$ 、 $n_c$  以及  $S_1$  和  $S_2$  的函数:

$$L_{ci} = L_{ci}(\lambda, w, t, n_g, n_c, S_i), \quad i = 1, 2 \quad (2)$$

$$L_{ei} = L_{ei}(\lambda, w, t, n_g, n_c, S_i), \quad i = 1, 2 \quad (3)$$

$\beta$  是  $\lambda$ 、 $w$ 、 $t$ 、 $n_g$  和  $n_c$  的函数:

$$\beta = \beta(\lambda, w, t, n_g, n_c). \quad (4)$$

氟化聚酰亚胺材料的色散和温度特性被表示成

$$n_g = n_g(\lambda, T), \quad (5)$$

$$n_c = n_c(\lambda, T), \quad (6)$$

式中  $T$  为环境温度。显然  $\eta$  是  $\lambda$  和  $T$  的函数。以中心波长  $\lambda = 1550 \text{ nm}$ 、中心温度  $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  为出发点, 器件设计时要解决的是确定上述参量中的  $w$ 、 $t$ 、 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $n_g$ 、 $n_c$ 、 $L_1$ 、 $L_2$  和  $\Delta L$ , 为了实现  $\eta$  对  $\lambda$  和  $T$  的不敏感, 数学上表现为这些参量必须满足(7)式的联立方程:

$$\eta(\lambda, T) = 50\% \pm \delta\eta, \quad (7a)$$

$$|\delta\eta(\lambda, T)|_{\lambda} = \left| \frac{\partial \eta}{\partial \lambda} \times \delta\lambda \right| < \sigma_{\lambda}, \quad (7b)$$

$$|\delta\eta(\lambda, T)|_T = \left| \frac{\partial \eta}{\partial T} \times \delta T \right| < \sigma_T, \quad (7c)$$

$$\delta\eta = |\delta\eta(\lambda, T)|_{\lambda} + |\delta\eta(\lambda, T)|_T. \quad (7d)$$

3 dB 耦合器在实用上要求  $\delta\eta \leq 2.3\%$ <sup>[15]</sup>, 相应的允许变动量  $\sigma_{\lambda}$  和  $\sigma_T$  将根据  $\delta\eta$  来合理分配。由于待确定的参量多于(7)式给出的方程数, 我们采用在合理范围内对各参量的细分扫描来求解, 由此得到对波长和温度变动迟钝的耦合器结构参量。

## 2.2 偏振和温度依存性的同时消除

单模条波导的本征模是混合模(hybrid mode), 可以分解为 TE-like 模  $E_{11}^+$  和 TM-like 模  $E_{11}^-$  两个正交偏振态。由于氟化聚酰亚胺的折射率各向异性, 一般情况下, 采用不同的偏振模, 由(7)式解出的耦合器结构参量是不同的。作为例子, 图 3 给出了一个氟化聚酰亚胺光波导宽带耦合器在  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  时的数值结果, 结构参量与图 2 的相同,  $E_{11}^+$  模的输出功率耦合比呈现平坦的波长特性, 而  $E_{11}^-$  模的输出功率耦合比出现了波长依存性。

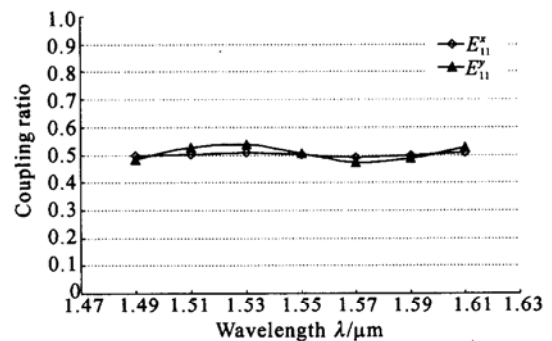


Fig. 3 An example of the numerical calculation for 3 dB waveguide coupler in fluorinated polyimide at  $20 \text{ }^\circ\text{C}$

由于图 1(a) 所示马赫-曾德尔干涉型波导回路的输出具有周期性特征, 对于一个偏振模, 可以解出一系列满足(7)式的耦合器结构参量组, 两个偏振模对应有两倍的组数。于是问题转化为如何在其中找到一组耦合器结构参量, 它同时满足  $E_{11}^+$  模和  $E_{11}^-$  模。这里, 我们采用了如下的统计优化方法。

设字母  $Q$  代表设计追求的目标功率耦合比, 字母  $D$  为  $\eta$  和  $Q$  的差:

$$D_{lmn} = \eta_{lmn} - Q,$$

$$l = 1, 2; \quad m = 1, 2, \dots; \quad n = 1, 2, \dots \quad (8)$$

这里下标  $l = 1, 2$  分别为  $E_{11}^+$  模和  $E_{11}^-$  模, 下标  $m$  为一系列温度取样值, 下标  $n$  为一系列波长取样值。定义如下评价函数  $\delta$  来统计反映在所考虑的波长带域和温度范围上, 包含两个正交偏振态在内的, 器件的输出功率耦合比的设计值与目标值的吻合程度:

$$\delta = \sum_l \sum_m \sum_n D_{lmn}^2,$$

$$l = 1, 2; \quad m = 1, 2, \dots; \quad n = 1, 2, \dots \quad (9)$$

显然,  $\delta$  愈小, 器件的带宽特性、温度特性以及偏振特性愈好。由于  $\eta$  是波长和温度的连续函数, 以合理的采样密度在波长带域和温度范围上离散抽样可以保障评价函数  $\delta$  反映问题的实质。

分别对两个正交偏振态  $E_{11}^+$  模和  $E_{11}^-$  模, 由(7)式解出对应的一系列耦合器结构参量组, 以偏振态划分, 合理地选出数对比较接近的结构参量组, 分别代入(9)式并用数值方法进一步微调整各个物理

和结构参量, 在设定的波长带域和温度范围上, 使得  $\delta$  最小。由此得到优化选出的、同时满足带宽、温度和偏振要求的耦合器结构参量。

### 3 设计用基本参量

#### 3.1 氟化聚酰亚胺光波导参量测试

将 6FDA 与 ODA、TFDB 按等摩尔数配平, 在 N,N-二甲基乙酰胺 (DMAc) 溶媒中反应聚合, 得到相应的共聚亚胺酸。在石英基板上, 用旋涂法成膜后, 经 350 °C 脱溶媒处理制得氟化聚酰亚胺平面光波导。图 4 给出了用棱镜耦合仪 (Metricon 公司 Model 2010, 波长为 1550 nm) 测得的氟化聚酰亚胺中 6FDA/TFDB 的含量比例与折射率的关系, 以及双折射特性。显示出明显的线性特性, 波导芯和包层的折射率可以通过调节氟化聚酰亚胺中 6FDA/TFDB 的含量来精确控制。双折射率差约为 0.0082。

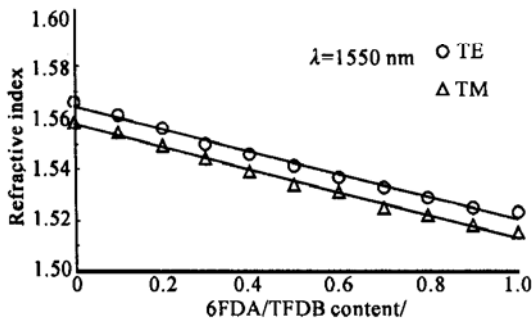


Fig. 4 The relation between the 6FDA/TFDB content of fluorinated polyimides and refractive indices ( $n_{TE}$  and  $n_{TM}$ ) measured by TE and TM mode at 1550 nm wavelength

由于上述棱镜耦合仪没有温控功能, 折射率温度特性采用实验室棱镜薄膜耦合系统测量, 样品的 6FDA/TFDB 摩尔分数为 0.5, 处于精密调温系统中。光源是 632.8 nm 无偏振 He-Ne 激光。结果如图 5 所示。用最小二乘法线性拟合, 得氟化聚酰亚胺的折射率温度系数约为  $-1.3 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。一般地, 介质的折射率温度特性与两个因素有关, 一个是材料密度的温度变化率, 另一个是分子极化率的温度变化率。氟化聚酰亚胺是共价结合体, 其分子极化率的温度变化率非常小, 而材料密度的温度变化率或者说热膨胀率非常大, 通常比玻璃等介质的 1~2 个数量级。因此材料密度的温度变化率是影响折射率温度特性的主要因素。密度的温度变化率与波长无关, 因此由 632.8 nm 波长测得的折射率温度系数对 1550 nm 波长是有效的。事实上, 利用氟化聚酰亚胺波导阵列光栅的 1550 nm 中心波长的温标换算得到的折射率温度系数与我们的测量值非常接近<sup>[16]</sup>。

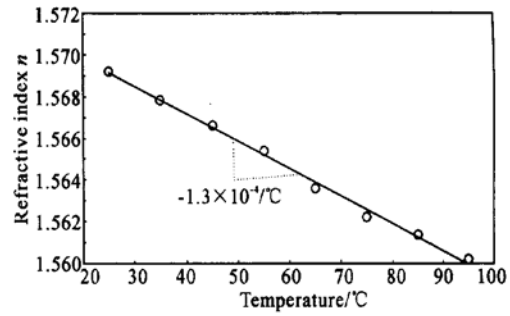


Fig. 5 Dependence of refractive index of the fluorinated polyimide film on temperature determined by the prism coupling method. The linear fitting by the least squares method shows index-temperature coefficient is about  $-1.3 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

将镜面研磨后的单模光纤的一端插入共聚亚胺酸中, 经 350 °C 脱溶媒处理制得氟化聚酰亚胺终端。光纤的另一端接入反射波损耗测量仪 (惠普公司 HP81534A), 在 1550 nm 波带上扫描波长测量反射波损耗, 由此换算终端处氟化聚酰亚胺的折射率, 结果显示在 140 nm 带宽内基本呈线性色散, 折射率波长系数约为  $-0.84 \times 10^{-5} \text{ nm}^{-1}$ 。

#### 3.2 耦合器基本参量的取得

器件设计的最终结果将通过波束传播法的模拟运行来验证, 故优化设计中使用的参量  $\beta$ 、 $L_c$ 、 $L_e$  由波束传播法计算获得。导模传播常量  $\beta$  由波束传播法的横截面有限差分法算出。方向性耦合器的完全耦合长度  $L_c$  与耦合器中的一对本征偶、奇对称模的传播常量  $\beta_e$  和  $\beta_o$  有如下关系<sup>[14]</sup>:

$$L_c = \frac{\pi}{\beta_e - \beta_o} \quad (10)$$

因而, 由波束传播法求出  $\beta_e$  和  $\beta_o$  后,  $L_c$  就被确定了。等效耦合长度增量  $L_e$  由下式得到<sup>[14]</sup>

$$L_e = \frac{2L_c}{\pi} \arccos \sqrt{\eta_s}, \quad (11)$$

式中  $\eta_s$  为单个方向性耦合器的输出功率耦合比, 该方向性耦合器的平行段长度取  $L_c$ , 方向性耦合器的几何结构与图 1(a) 所示马赫-曾德尔干涉回路中单个方向性耦合器的完全相同。 $\eta_s$  由三维波束传播法算出, 计算取横向细分宽度 0.2  $\mu\text{m}$  纵向步长 1  $\mu\text{m}$ 。

### 4 设计和仿真运行结果

在中心波长 1550 nm 和中心温度 20 °C 下, 求解 (7) 式。经适当地探索性运算和归纳整理后, 取  $S_1 =$

$S_2 = 5 \mu\text{m}$ ,  $w = t = 8 \mu\text{m}$ ,  $\Delta = 0.3\%$  时, 对应  $E_{11}$  模和  $E_{11}$  模, 分别有一系列个  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $\Delta L$  组合使方程组 (7) 式得以满足。这里定义  $\Delta = (n_g^2 - n_c^2) / 2n_g^2$  为相对折射率差。进一步在 1490~1610 nm 带宽上, 以 20 nm 为间距离散提取七个波长, 分别在温度 -10 °C、0 °C、10 °C、20 °C、30 °C 和 40 °C 上, 对两个正交偏振态共记 84 个计算点进行 (9) 式的最小化数值运算。每次最小化运算使用的  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $\Delta L$  的初始值取两个正交偏振态下的平均值。

取目标功率耦合比  $Q = 0.5$ , 合理地选择若干个  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $\Delta L$  组合逐次代入 (9) 式, 经适当地微调整, 结果得到与  $\delta$  值 0.000084 时对应的器件几何参量  $L_1$ 、 $L_2$  和  $\Delta L$  分别为 0.2002 mm、1.6028 mm 和 0.68  $\mu\text{m}$ 。为了验证器件的特性, 我们用三维波束传播法 (OPTIWAVE 公司 BPM\_CAD) 进行了仿真运行。仿真运行的截面尺寸为 440  $\mu\text{m} \times 80 \mu\text{m}$ , 分点长度与步长分别为 0.2  $\mu\text{m}$  和 1  $\mu\text{m}$ 。仿真结果示于图 6, 在 1490 nm 至 1610 nm 的 120 nm 带宽上, 从 -10~40 °C 的温度变动中, 两个正交偏振态的功率输出比均在 (50 ± 0.8)% 以内, 实现了很好的宽带和抗偏振变动、抗温度变动特性。

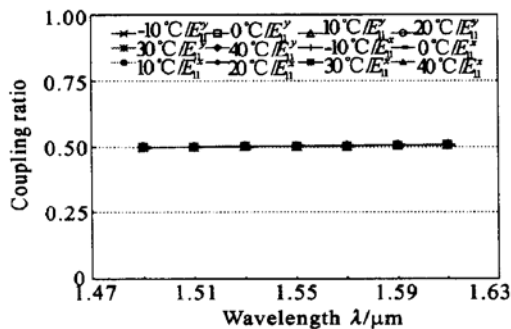


Fig. 6 The result obtained by 3-dimensional BPM simulation, of 3 dB waveguide coupler in fluorinated polyimide

在上述波长带宽上, 将仿真运行的温度范围扩大至 -40~80 °C, 除图 6 给出的结果以外, 其它特性曲线示于图 7。除 -15 °C 和 50 °C 的两组曲线还维持在 3 dB 附近以外, 其它曲线呈现出明显的劣化趋势。进一步的改进工作正在进行, 有关结果将另行撰文报告。

**结论** 提出了一种适合于宽带光波导耦合器的抗偏振变动、抗温度变动的优化设计理论和方法。报导了氟化聚酰亚胺薄膜波导的制备工艺, 实测了氟化聚酰亚胺薄膜的温度特性、色散特性和双折射率。

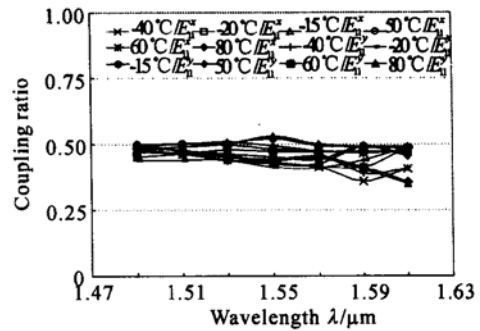


Fig. 7 The numerical result obtained by three-dimensional BPM simulation of 3 dB waveguide coupler in fluorinated polyimide. It shows that the coupling ratio is much different to the two orthogonal polarizations in 120 nm waveband and temperature region of -20~ -40 °C. The characteristic in the range of 50~80 °C is not better than that of -10~40 °C

在此基础上, 对氟化聚酰亚胺光波导做了中心波长为 1550 nm、带宽为 120 nm 的抗偏振变动、抗温度变动 3 dB 耦合器的设计。三维波束传播法仿真运行结果表明, 器件在上述带域内, 从 -10~40 °C 的温度变动中, 两个正交偏振态均实现了 (50 ± 0.8)% 功率输出比的良好特性。

## 参 考 文 献

- 1 Takagi A, Jinguji K, Kawachi M. Silica-based waveguide-type wavelength-insensitive couplers (WINCs) with series-tapered coupling structure. *J. Lightwave Technol.*, 1992, **10**(12): 1815~1824
- 2 Takagi A, Jinguji K, Kawachi M. Design and fabrication of broad-band silica-based optical waveguide couplers with asymmetric structure. *IEEE J. Quantum. Electron.*, 1992, **28**(4): 848~855
- 3 Kobayashi J, Matsuura T, Sasaki S *et al.*. Single-mode optical waveguides fabricated from fluorinated polyimides. *Appl. Opt.*, 1998, **47**(9): 943~948
- 4 Kurokawa T, Takato N, Katayama Y. Polymer optical circuits for multimode optical fiber systems. *Appl. Opt.*, 1980, **19**(18): 3124~3129
- 5 Hartman D H, Lalk G R, Howse J W *et al.*. Radiant cured polymer optical waveguides on printed circuit boards for photonic interconnection use. *Appl. Opt.*, 1989, **28**(1): 40~47
- 6 Booth B L. Low loss channel waveguides in polymers. *J. Lightwave Technol.*, 1989, **7**(10): 1445~1453
- 7 Keil N, Yao H H, Zawadzki C *et al.*. 4 × 4 polymer thermooptic directional coupler switch at 1.55  $\mu\text{m}$ . *Electron. Lett.*, 1989, **30**(8): 1445~1453
- 8 Matsuura T, Kobayashi J, Ando S *et al.*. Heat-resistant flexible-film optical waveguides from fluorinated polyimides.

- Appl. Opt.*, 1999, **38**(6): 966~ 971
- 9 Kaino T, Fujiki M, Oikawa S *et al.*. Low-loss plastic fibers. *Appl. Opt.*, 1981, **20**(17): 2886~ 2888
- 10 Imamura S, Yoshimura R, Izawa T. Polymer channel waveguides with low loss at 1.3  $\mu\text{m}$ . *Electron. Lett.*, 1991, **27**(15): 1342~ 1343
- 11 Jae W K, Jae P K, Won Y L *et al.*. Low-loss fluorinated poly (arylene ether sulfide) waveguides with high thermal stability. *J. Lightwave Technol.*, 2001, **19**(6): 872~ 875
- 12 Kokubun Y, Yoneda S, Tanaka H. Temperature-independent narrowband optical filter at 1.3  $\mu\text{m}$  wavelength by an athermal waveguide. *Electron. Lett.*, 1996, **32**(21): 1998~ 2000
- 13 Takahashi H, Oda K, Toba H *et al.*. Transmission characteristics of arrayed waveguide  $N \times N$  wavelength multiplexer. *IEEE J. Lightwave Technol.*, 1995, **13**(3): 447~ 455
- 14 Chen Baoxue, Yuan yifang, Mamoru I. Design of wide wavelength-insensitive coupler using statistical optimum method. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2001, **21**(8): 996~ 1000 (in Chinese)
- 15 Takato N, Hanawa F, Okamoto K *et al.*. Optical couplers using silica-based planar lightwave circuits. *NTT Group's Research and Development Activities*, 1994, **43**(11): 1281 ~ 1288 (in Japanese)
- 16 Kobayashi J, Inoue Y, Matsuura T *et al.*. Tunable and polarization insensitive arrayed-waveguide grating multiplexer fabricated from fluorinated polyimides. *IEICE Trans. Electron.*, 1998, **E81-C**(7): 1020~ 1026

## Optimized Design of Polarization and Temperature-Insensitive Optical Waveguide Broad Band Coupler Using Fluorinated Polyimide

Lu Hongliang<sup>1</sup> Chen Baoxue<sup>1</sup> Zhao Dexin<sup>2</sup> Yuan Yifang<sup>1</sup> Mamoru Iso<sup>3</sup>

1 College of Optics and Electron Information Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093

2 Nitta Shanghai Co., Ltd, Shanghai 200233

3 Department of Chemical Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan 184-8588

(Received 24 July 2002; revised 9 October 2002)

**Abstract:** A method for designing optimized polarization-independent and temperature-insensitive optical waveguide couples using fluorinated polyimide is presented. Based on measured polarization, temperature and dispersion characteristics of fluorinated polyimide, a 3 dB waveguide coupler with 120 nm bandwidth with minimal polarization and temperature variance is designed and verified through simulation based on three-dimensional beam propagation. The coupling ratio of the theoretical device is  $(50 \pm 0.8)\%$  for two orthogonal polarization modes in the waveband 1490~ 1610 nm and the temperature range - 10~ 40  $^{\circ}\text{C}$ .

**Key words:** polymer waveguide; polarization-insensitive; temperature-insensitive; broad-band coupler