

MEDIDA DO COMPRIMENTO DE BATIMENTO EM FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO DE ALTA BIRREFRINGÊNCIA

PELO MÉTODO DE VARREDURA EM FREQUÊNCIA

D.C.Dini*, E.Conforti** e J.B.M.A.Neto*

* Área de Fibras Ópticas - CPqD/Telebrás - Campinas - SP

** Departamento de Microondas e Óptica - FEE/Unicamp - Campinas - SP

RESUMO

Neste trabalho são apresentados os resultados obtidos na caracterização do comprimento de batimento em fibras ópticas monomodo de alta birrefringência. O comprimento de batimento é determinado pela dependência com a frequência da diferença de fase entre os dois estados ortogonalmente polarizados do modo fundamental.

INTRODUÇÃO

Fibras ópticas monomodo de alta birrefringência estão sendo desenvolvidas para aplicações onde o estado da polarização precisa ser mantido, como por exemplo, em sistemas de comunicações ópticas coerentes.

Nesses casos a polarização do campo propagante deve ser preservada visando-se à otimização da eficiência de detecção do sinal coerente, de modo a aumentar significativamente a capacidade e a distância de transmissão dos sinais por fibra óptica (1). As fibras ópticas monomodo de alta birrefringência também têm sido empregadas em sensores (2).

DEFINIÇÕES BÁSICAS

A birrefringência em uma fibra óptica monomodo causa uma diferença nas velocidades de propagação entre os dois estados ortogonalmente polarizados do modo fundamental HE₁₁. Essa diferença das velocidades faz com que a fibra exiba um atraso de fase, ϕ , entre os dois modos.

O atraso de fase cresce linearmente com a distância e é dado por

$$\phi = L\Delta\beta \quad (1)$$

onde $\Delta\beta = (\beta_y - \beta_x)$

L = comprimento da fibra

β_x, β_y = constantes de propagação de fase dos modos nas direções x,y respectivamente.

Quando uma luz linearmente polarizada é lançada com um ângulo de 45° em relação a um dos eixos principais da fibra de alta birrefringência, excitará inicialmente os dois modos ortogonais HE_x e HE_y com a

mesma intensidade. Depois de um certo comprimento, a diferença de fase chega a 2 π , fazendo com que a condição inicial seja reproduzida.

Esse comprimento, L_b, é chamado comprimento de batimento e é dado por

$$L_b = \frac{2\pi}{|\Delta\beta|} \quad (2)$$

A birrefringência modal, B, para um determinado comprimento de onda λ , é definida como:

$$B = \frac{\Delta\beta}{k} = \frac{\lambda}{L_b} = n_y - n_x \quad (3)$$

onde

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ = constante de propagação no vácuo

n_x, n_y = índices de refração do núcleo nas direções x,y respectivamente.

As fibras de alta birrefringência, para as quais o valor de B é maior que 10⁻⁵, já foram fabricadas nos mais diversos tipos sendo que o maior valor obtido foi de B = 8.5 x 10⁻⁴ para uma fibra PANDA (3). Este valor é aproximadamente uma ordem de grandeza menor que a diferença de índice de refração, Δn , da fibra, onde $\Delta n = n_1 - n_2$ e n_1, n_2 são respectivamente os índices de refração do núcleo e da casca.

FATORES LIGADOS À BIRREFRINGÊNCIA

A birrefringência interna em fibras de alta birrefringência é uma combinação linear de dois mecanismos, $B = B_g + B_s$ onde B_g é a birrefringência devido à geometria e B_s a birrefringência devido às tensões ("stress") criadas propositalmente por elementos fora da região do núcleo (4).

A birrefringência devido à geometria, B_g, é conseguida fazendo com que a diferença do índice de refração, Δn , seja grande e que o núcleo da fibra tenha um alto grau de elipsidade, $\epsilon = (ax - ay)/(ax + ay)$, onde ax e ay são respectivamente os eixos maior e menor do núcleo.

Por outro lado, a birrefringência devido a

tensões, B_s , é o resultado da utilização de materiais com diferentes coeficientes de expansão térmica depositados ou inseridos assimetricamente em torno do núcleo. Essa assimetria transversal introduz uma birrefringência linear devido à mudança do índice de refração através do efeito fotoelástico. Como ilustração, na Fig. 1 são mostrados alguns tipos dessas fibras. As fotografias foram obtidas em um microscópio óptico invertido, usando uma objetiva de 40X e iluminando a fibra pela outra ponta. Essas fibras possuem regiões de $B_2O_3 - SiO_2$ altamente dopadas, que correspondem nas fotografias aos elementos escuros no interior da fibra e devido à diferença dos coeficientes de expansão térmica entre essas regiões e o tubo substrato de SiO_2 usado na confecção da fibra, introduzem tensões assimétricas em torno do núcleo.

As fibras utilizadas neste trabalho são as mesmas da Fig. 1, tendo o núcleo aproximadamente circular e altas tensões internas. Dessa forma, o valor de B_s é muito maior que B_g e a birrefringência total será essencialmente devida a B_s .

MONTAGEM EXPERIMENTAL

Na medida experimental utilizou-se a montagem da Fig. 2, onde a luz de uma lâmpada halogêneo-tungstênio de 100W depois de atravessar o monocromador, é lançada em uma fibra multimodo. Isto torna-se necessário pelo fato da luz ficar parcialmente polarizada devido aos componentes ópticos utilizados. Por outro lado, ao final da fibra multimodo já se obteve luz totalmente despolarizada pela alta taxa de conversão de modos nesta fibra. Assim, após esse feixe luminoso des-polarizado passar através de um polarizador Glan-Taylor, obtém-se uma luz linearmente polarizada de mesma intensidade para qualquer ângulo azimutal dado pelo eixo do polarizador.

Essa luz polarizada linearmente com ângulo variável é lançada em um pedaço (10cm a 1m) de fibra monomodo de alta birrefringência, colocada entre o polarizador e o analisador. O polarizador e o analisador são rodados lentamente até encontrar-se a intensidade mínima para um determinado comprimento de onda. Quando isso acontece, o polarizador e o analisador estão cruzados e concomitantemente, garante-se que o lançamento está sendo feito em um dos eixos principais da fibra.

O polarizador e o analisador são então girados a 45° cada um para excitar igualmente os modos ortogonais HE_y e HE_x .

Quando a frequência (ou o comprimento de onda) é mudada, a intensidade $I(\lambda)$ do sinal detetado varia ⁽⁵⁾, sendo que a variação medida neste trabalho apresenta curvas como as mostradas na Fig. 3. O valor $I(\lambda)$ é dado teoricamente por

$$I(\lambda) = I_0 \cos^2 \frac{\vartheta}{2} \quad (4)$$

onde

$I(\lambda)$ = intensidade detetada depois do analisador
 I_0 = intensidade detetada da luz lançada na fibra
 ϑ = diferença de fase para um comprimento de onda λ .

A cada ciclo completo, que é a distância entre dois máximos consecutivos, corresponde uma diferença de fase de $\vartheta = 2\pi$.

Utilizando-se da Eq. (3), a diferença de fase entre os dois modos ortogonais pode ser reescrita como

$$\vartheta = L \frac{2\pi}{\lambda} B = \frac{L}{L_b} 2\pi \quad (5)$$

Portanto o comprimento L da fibra a ser medida deve ser maior que o comprimento de batimento L_b para se obter uma diferença de fase maior que 2π .

Assumindo B independente do comprimento de onda, isto é, desprezando os efeitos de dispersão material e de guia de onda ⁽⁶⁾, pode-se calcular nesta condição, a mudança de fase, $\Delta\vartheta$, introduzida por uma variação no comprimento de onda $\Delta\lambda$, onde $|\Delta\lambda| \ll \lambda$. O valor $\Delta\vartheta$ será dado por

$$\Delta\vartheta = \frac{-2\pi}{\lambda^2} \Delta\lambda LB \quad (6)$$

Utilizando o comprimento de batimento L_b da Eq. (3) e para uma diferença de fase igual a 2π , a Eq. (6) torna-se

$$L_b = L \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \quad (7)$$

onde

$\Delta\lambda$ e λ são respectivamente a diferença e a média entre os comprimentos de onda de dois máximos consecutivos ^(5,7).

RESULTADOS

Os valores obtidos para o comprimento de ba-

timento nas fibras medidas são mostrados na tabela a seguir.

TABELA 1

FIBRA	L (cm)	λ (nm)	L_b (mm)	$B \times 10^{-4}$
PANDA/FUJIKURA	11.06	852.3	1.19	7.16
"BOW TIE"	10.90	851.2	1.65	5.16
CASCA ELÍPTICA	16.15	841.0	6.91	1.22
CASCA ELÍPTICA	16.15	654.0	4.94	1.33

Na região de $\lambda = 850$ nm a fibra PANDA obteve o menor comprimento de batimento significando uma maior birrefringência. O valor aqui obtido $B = 7.16 \times 10^{-4}$ é próximo do maior valor já conseguido neste tipo de fibra ($B = 8.5 \times 10^{-4}$).

O comprimento de batimento da fibra de casca elíptica já havia sido medido pelo método do espalhamento Rayleigh, usando um laser de kriptônio com $\lambda = 547.1$ nm, tendo-se obtido um valor de $L_b = 5.3$ mm ⁽⁸⁾, bastante próximo do valor 4.94 mm aqui obtido.

Os valores experimentais de $\Delta\lambda$ e λ , tirados da curva de intensidade na Fig. 3 foram plotados no gráfico da Fig. 4. Com a utilização do valor médio $B = 5.14 \times 10^{-4}$, a equação $\Delta\lambda = \lambda^2/LB$ foi traçada mostrando um bom casamento entre os valores experimentais e teóricos.

A Fig. 5 mostra a variação da birrefringência com a frequência (ou o comprimento de onda) para as fibras medidas. Os pontos representam os valores experimentais e a linha cheia o valor médio da birrefringência. Vemos, conforme assumido, que a birrefringência devido a B_s é independente da frequência.

CONCLUSÃO

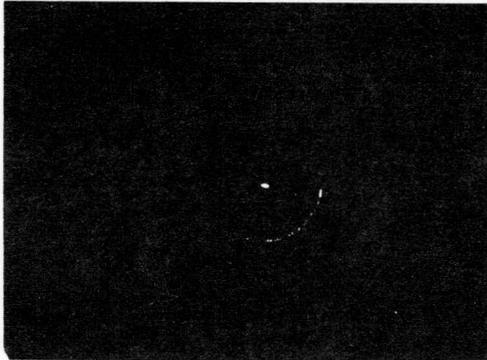
O método de medida do comprimento de batimento com a varredura em frequência mostrou-se eficaz nos tipos de fibra onde a birrefringência é devida a tensões. Além disso, os equipamentos utilizados são os mesmos empregados na medida de atenuação espectral menos os polarizadores. Dessa forma, o método descrito tem a vantagem de dar dupla utilização a esses equipamentos visto que a atenuação espectral também é uma medida fundamental para a caracterização de fibras ópticas.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Eng. Jonas Trunk pela doação da amostra de fibra PANDA da Fujikura Ltd.

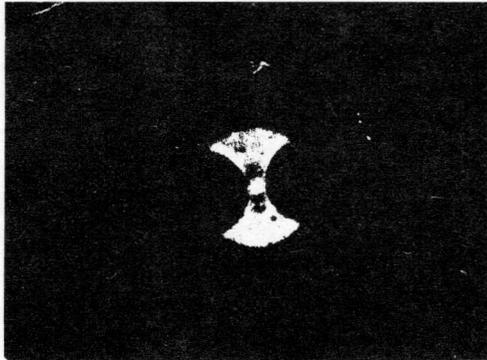
BIBLIOGRAFIA

- (1) T.Okoshi, "Heterodyne and Coherent Optical Fiber Communications: Recent Progress", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techn., MTT-30, agosto 1982.
- (2) D.A.Jackson, "Monomode Optical Fibre Interferometers for Precision Measurements", J.Physics E:Sci. Instrument, vol. 18, 1985.
- (3) J.Noda, K.Okamoto, Y.Sasaki, "Polarization-Maintaining Fibers and Their Applications", J. of Lightwave Tech., vol. LT-4, nº 8, pp. 1071-1089, agosto 1986.
- (4) S.C.Rasleigh, "Origins and Control of Polarization Effects in Single-Mode Fibers", J. of Lightwave Tech., vol. LT-1, nº 2, junho 1983.
- (5) S.C.Rasleigh, "Wavelength Dependence of Birefringence in Highly Birefringent Fibers", Optics Lett. vol. 7, nº 6, pp. 294-296, junho 1982.
- (6) K.Kikuchi, T.Okoshi, "Wavelength-Sweeping Technique for Measuring the Beat Length of Linearly Birefringent Optical Fibers", Optics Letters, vol. 8, nº 2, pp. 122-123, fevereiro 1983.
- (7) M.Monerie, F.Alard, "Birefringence and Polarization Dispersion Measurements in High Birefringence Single Mode Fibers", Elec.Lett., vol. 23, nº 5, pp. 198-199, fevereiro 1987.
- (8) D.C.Dini, E.Conforti, "Medidas do Grau de Polarização e do Comprimento de Batimento em Fibras Ópticas de Casca Elíptica", submetido ao III Simpósio Brasileiro de Microondas, 27-29 julho de 1988, Natal, RN.



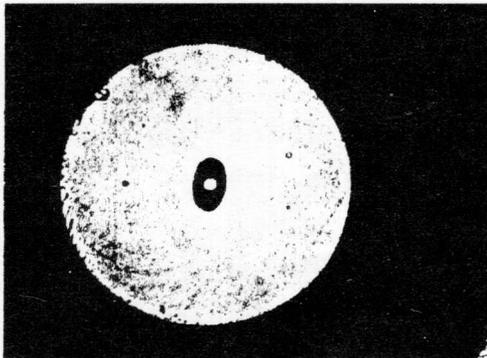
"BOW TIE"

Diâmetro da casca = $80\mu\text{m}$
 Diâmetro do núcleo = $5\mu\text{m}$



PANDA - Fujikura Ltd.

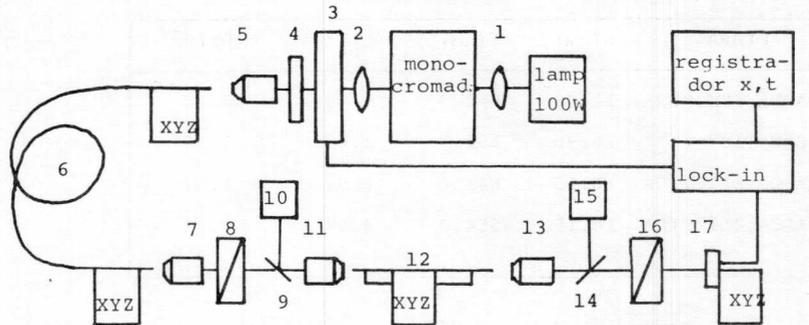
Diâmetro da casca = $123\mu\text{m}$
 Diâmetro do núcleo = $4\mu\text{m}$



CASCA ELÍPTICA

Diâmetro da casca = $139\mu\text{m}$
 Diâmetro do núcleo = $5\mu\text{m}$
 Elipse da casca depositada
 Eixo maior = $26\mu\text{m}$
 Eixo menor = $15\mu\text{m}$

FIG. 1 - Fotografia da secção transversal das fibras utilizadas.



- | | | | |
|------------|-----------------|--------|--|
| 1,2. | lente | 9,14. | divisor de feixe |
| 3. | chopper | 10,15. | visor/iluminador |
| 4. | filtro | 12. | fibra monomodo de alta birrefringência |
| 5,7,11,13. | objetiva 10X | 16. | analisador |
| 6. | fibra multimodo | 17. | |
| 8. | polarizador | | |

FIG. 2 - Montagem experimental

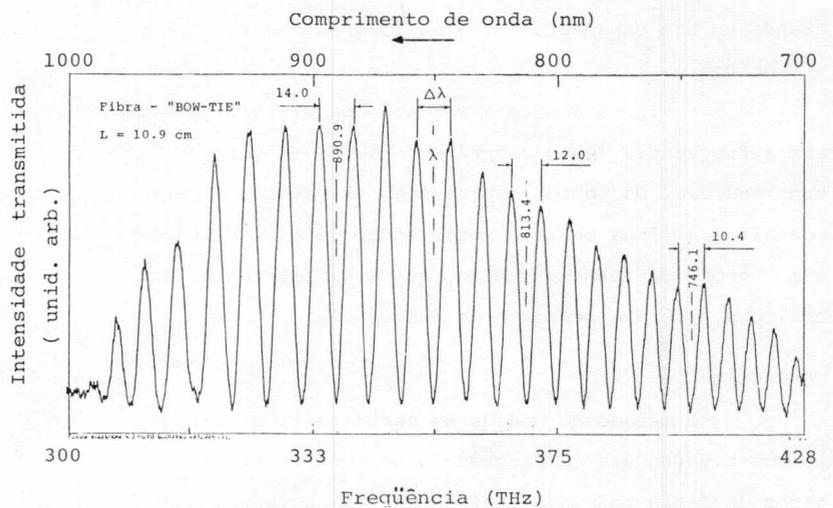


FIG. 3 - Variação da Intensidade transmitida com a mudança do comprimento de onda em uma fibra "BOW-TIE".

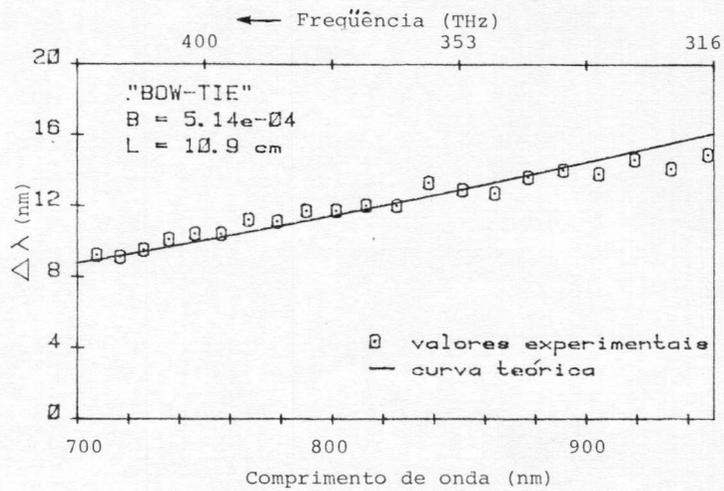


FIG.4 - Variação de $\Delta\lambda$ em função da freqüência (ou do comprimento de onda)

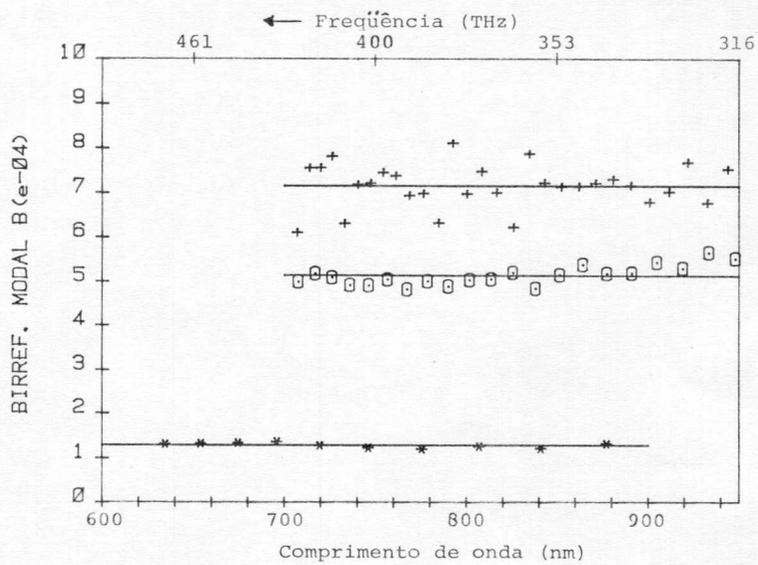


FIG.5 - Birrefringência Modal em função da freqüência (ou do comprimento de onda).

(+) PANDA (□) "BOW-TIE" (*) CASCA ELÍPTICA
 — Valor médio da Birrefringência Modal