

## REDES DE DIFRACÇÃO EM FIBRA ÓPTICA

F. M. Araújo, J. M. Sousa e A. B. Lobo Ribeiro

Grupo de Optoelectrónica, INESC-Porto, R. José Falcão 110, 4000 Porto, Portugal.

São apresentados resultados da fabricação de redes de difracção "escritas" no núcleo de fibras ópticas monomodo, através de um processo não-holográfico que usa um elemento óptico difractivo (máscara de fase) para alterar localmente o índice de refracção da fibra. O comportamento deste tipo de rede de difracção como elemento sensor de alta precisão na monitorização de grandezas físicas, tais como a temperatura e a deformação, é experimentalmente investigado.

Desde que foi demonstrado por Hill *et. al.* [1] que redes de difracção podiam ser "escritas" no núcleo de fibras ópticas monomodo fotosensíveis<sup>†</sup>, o interesse por este tipo de dispositivo tem crescido rapidamente, não só no desenvolvimento de lasers sintonizáveis em fibra óptica [2], mas também na sua aplicação como elementos sensores [3]. Isto porque as redes de difracção são facilmente integráveis nos sistemas de fibras ópticas sem comprometer as próprias dimensões da fibra, tornando os sistemas compactos e eficientes. As redes de difracção podem ser construídas por três processos diferentes: técnica 'ponto-a-ponto' [4], técnica holográfica [5] e por 'máscara de fase' [6]. Neste trabalho, usamos esta última técnica para a fabricação de redes de difracção com comprimento de onda central na terceira janela das telecomunicações e estudamos a dependência do comprimento de onda central com a temperatura e com a deformação (realizada por curvatura da fibra).

A técnica da 'máscara de fase', é essencialmente realizada em duas fases. Primeiro, um feixe de electrões é usado para escrever uma rede de difracção num bloco (máscara) de sílica fundida de alta qualidade. Depois, radiação laser proveniente de um laser de excímeros de KrF (radiação UV,  $\lambda = 248$  nm) é usada para iluminar a máscara, originando feixes UV difractados de ordem +1 e -1 que irão interferir, produzindo uma figura de interferência, a qual coincide com o espaçamento da rede de difracção que se pretende fabricar no núcleo da fibra (figura 1). O período da rede de difracção fabricada no núcleo da fibra é equivalente a metade do período da rede de difracção da máscara de fase, sendo a fibra colocada praticamente em contacto com a máscara de fase. Como o Germânio apresenta uma banda de absorção na região espectral de 240 a 250 nm, uma iluminação directa de fotões UV (a 248 nm), provocará alterações permanentes no índice de

<sup>†</sup> **fotosensíveis**, neste caso significa que a fibra óptica contém elevada concentração de Germânio (>6 mol%) e, possivelmente, de outros dopantes, tais como Boro e Cério; no entanto o seu comportamento comparativamente ao de uma fibra óptica convencional é idêntico.

refracção da fibra. Este processo físico é conhecido por *photobleaching*. Contudo, o mecanismo físico de alteração do índice de refracção induzido por radiação UV continua por explicar.

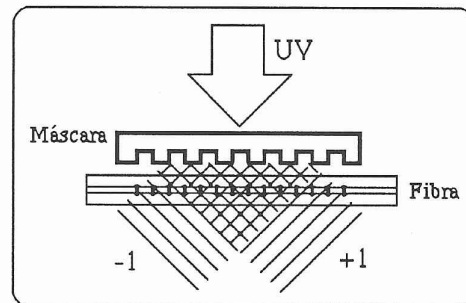


FIG. 1. Representação esquemática da fabricação de redes de difracção em fibra através de uma 'máscara de fase'.

Esta técnica de fabricação tem duas grandes vantagens. Primeiro, num ambiente industrial é relativamente imune aos efeitos adversos causados por vibrações. Segundo, as redes de difracção em fibras são produzidas por uma única exposição (se necessário), através de um processo similar à 'impressão por contacto', proporcionando assim uma fabricação rápida. Contudo, esta técnica é inerentemente mais dispendiosa, e para fabricar redes de difracção operacionais noutros comprimentos de onda, será necessário construir outras 'máscaras de fase'; além disso, a resolução espacial da rede de difracção é limitada pela própria resolução da máscara.

A figura 2, mostra a resposta em comprimento de onda de uma rede de difracção em fibra óptica 'escrita' usando um laser de excímeros, emitindo impulsos (20 ns) de radiação UV (248 nm) à taxa de repetição de 50 Hz, com um tempo de exposição de  $\approx 20$  minutos. O feixe laser usado, foi focado na fibra através de uma lente cilíndrica, criado-se deste modo um perfil rectangular (5 mm por 200  $\mu\text{m}$ ) com uma densidade de energia estimada em 150  $\text{mJ}/\text{cm}^2$ . A máscara de fase utilizada tem um período espacial de 1053 nm e uma amplitude ajustada de modo a reduzir a ordem 0 de difracção, a um valor inferior de 1%. A rede de difracção em

fibra obtida (fig.2), tem um comprimento de onda de reflexão (ou, comprimento de onda de Bragg,  $\lambda_B$ ) de  $\approx 1523.3$  nm e uma largura espectral a meia-altura ( $\Delta\lambda_B$ ) de  $\approx 0.63$  nm. A fibra óptica usada na experiência, é uma fibra HiBi da Andrews (tipo D), com um comprimento de onda de corte de 1205 nm e diferença de índices de refração,  $\Delta n = 0.035$ .

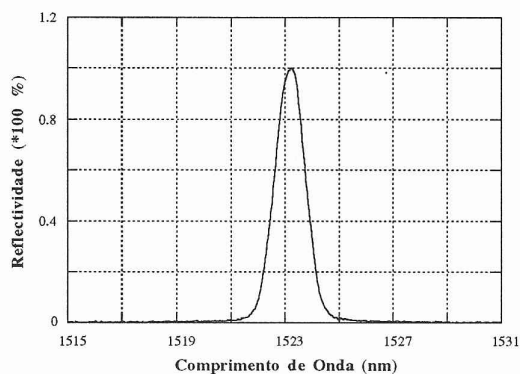


FIG. 2. Resposta espectral da rede de difracção em fibra óptica.

Quando a rede de difracção em fibra é aquecida ou arrefecida, ou até deformada por acção de uma força, o seu comprimento de onda de Bragg ( $\lambda_B$ ) é desviado do valor inicial. Este deslocamento é fundamentalmente criado pela alteração na periodicidade da rede de difracção e, conseqüentemente, uma alteração na sua característica espectral. Assim, cada rede de difracção em fibra é unicamente identificada a partir do seu comprimento de onda de Bragg próprio, tornando-se um elemento sensor de alta qualidade. Nas figuras 3 e 4, apresentam-se respectivamente, os desvios do comprimento de onda de Bragg em função da temperatura e da deformação, induzida por curvatura da fibra.

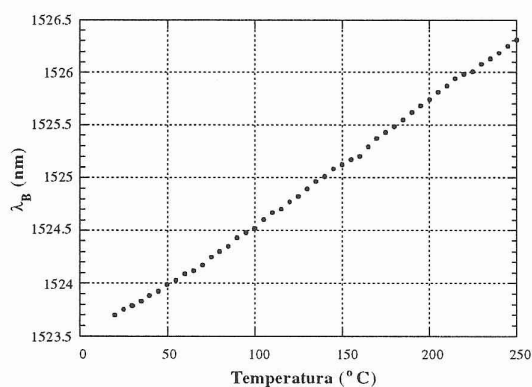


FIG. 3. Variação do comprimento de onda de Bragg ( $\lambda_B$ ) da rede de difracção com a temperatura (T).

Os valores obtidos para as taxas de variação foram  $11.63$  pm/°C (i.e., picometro por grau celsius) e  $42.8$  pm\*cm (i.e., picometro vezes centímetro), respectivamente.

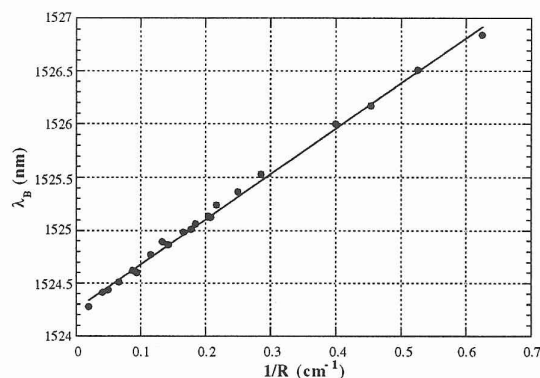


FIG. 4. Variação do comprimento de onda de Bragg ( $\lambda_B$ ) da rede de difracção com o inverso do raio de curvatura (R) da fibra.

A facilidade experimental de se poder escrever redes de difracção no núcleo de fibras ópticas, em qualquer localização da fibra, veio trazer grandes vantagens técnicas face a outros sistemas ópticos convencionais existentes no mercado, bem como, uma futura descida no custo dos mesmos. O uso deste tipo de componente óptico em diversas aplicações, tais como em sensores, redes de sensores [7] e lasers em fibra óptica [8], apresenta assim, um enorme potencial a explorar futuramente.

**Agradecimentos:** F.M. Araújo e A.B. Lobo Ribeiro (aluno de Doutoramento do Lab. de Física, Fac. Ciências da Univ. do Porto) agradecem o suporte financeiro da JNICT ("Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica").

- [1] K.O. Hill, Y. Fujii, D.C. Johnson and B.S. Kawasaki, *Appl. Phys. Lett.* **32**, 647 (1978).
- [2] G.A. Ball and W.W. Morey, *Opt. Lett.* **17**, 420 (1992).
- [3] W.W. Morey, in *Proc. 7th OFS Conf. (Australia, 1990)* p.237.
- [4] B. Malo, K.O. Hill, F. Bilodeau, D.C. Johnson and J. Albert, *Electron. Lett.* **29**, 1668 (1993).
- [5] G. Meltz, W.W. Morey and W.H. Glenn, *Opt. Lett.* **14**, 823 (1989).
- [6] K.O. Hill, B. Malo, F. Bilodeau, D.C. Johnson and J. Albert, *Appl. Phys. Lett.* **62**, 1035 (1993).
- [7] D.A Jackson, A.B. Lobo Ribeiro, L. Reekie and J.L. Archambault, *Opt. Lett.* **18**, 1192 (1993).
- [8] A.D. Kersey, M.A. Davis and W.W. Morey, in *Proc. 9th OFS Conf. (Italy, 1993)* Pd.5.