2
Conceitos preliminares

As redes de Bragg atraíram um considerável interesse ao longo dos últimos anos. Isso se deve a sua característica de refletir uma faixa estreita de comprimentos de onda. As redes são escritas holograficamente em fibras ópticas dopadas com *Ge* por exposições periódicas a radiação ultravioleta [4-6]. A exposição à radiação ultravioleta altera o índice de refração dos locais da fibra onde ocorre sua incidência. O processo de fabricação da rede de Bragg em fibras ópticas é descrito em detalhes na referência [5].

Sendo assim, as redes de Bragg em fibras ópticas (FBG-*Fiber Bragg Grating*) podem ser caracterizadas por uma modulação periódica no índice de refração do núcleo da fibra.

A figura 2.1 mostra um exemplo genérico de uma fibra óptica com o índice de refração do seu núcleo modulado periodicamente para formar uma rede de Bragg. Λ é o período no índice de modulação do núcleo induzido pela exposição aos raios ultravioletas.

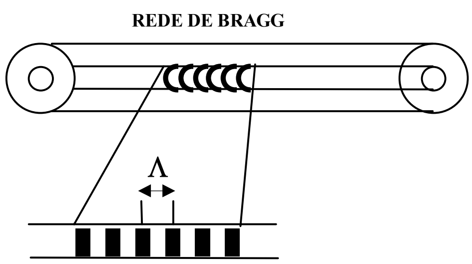


Figura 2.1 - Rede de Bragg

A modulação periódica no índice de refração faz com que a rede de Bragg apresente uma condição de ressonância em um específico comprimento de onda. Quando iluminada por uma fonte de luz de banda larga, como por exemplo um

LED, uma componente de luz de banda estreita é refletida no comprimento de onda determinado pela rede de Bragg. O comprimento de onda de Bragg é expresso por:

$$\lambda_B = 2n\Lambda \tag{2.1}$$

onde n é o índice de refração efetivo do núcleo.

Um exemplo de espectro de reflexão da componente de luz de banda estreita da rede de Bragg em função do comprimento de onda é mostrado na figura 2.2.

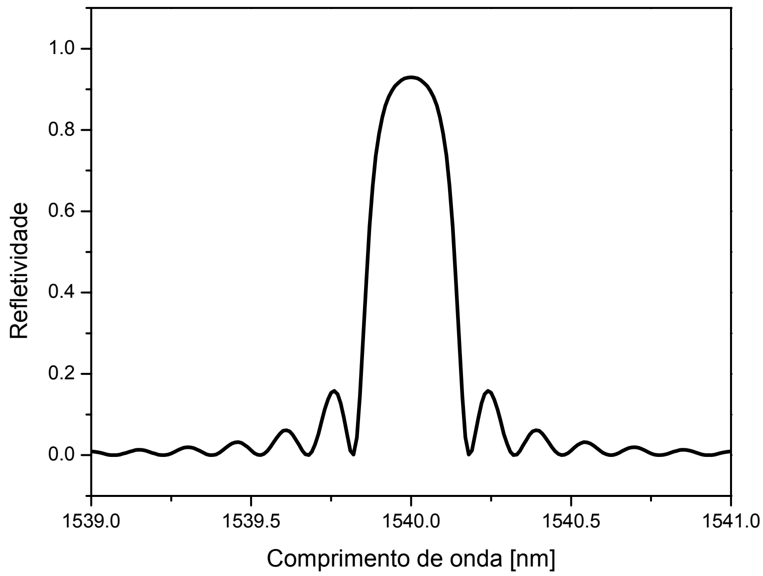


Figura 2.2 - Espectro da refletividade de uma rede de Bragg homogênea como uma função do comprimento de onda

A informação de uma possível perturbação na estrutura de modulação do índice de refração da rede de Bragg está relacionada diretamente ao comprimento de onda da luz refletida, sendo um parâmetro absoluto e independente dos níveis de luz, e conseqüentemente, independente de perdas em conexões, acopladores e potência óptica da fonte.

A deformação normalmente pode ser expressa por:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \tag{2.2}$$

onde l é o comprimento da rede, Δl a variação de seu comprimento, é comumente expresso em $\mu strain$, que é a deformação de 1 parte em 10^6 [ppm] .

A dependência reportada do deslocamento (normalizado) no comprimento de Bragg com a deformação relativa da rede, ε, é:

$$\left(\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B}\right) \approx 0.78\varepsilon \tag{2.3}$$

Para uma rede escrita em 1550 nm, uma deformação relativa de 1000 ppm corresponde a uma variação de 1,2 nm no comprimento de onda de Bragg.

A dependência com a temperatura é dada por:

$$\left(\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B}\right) \approx 10^{-5}\Delta T \tag{2.4}$$

Para uma rede escrita em 1550 nm, uma variação de temperatura de 100 °C corresponde a uma variação de 1,55 nm no comprimento de onda de Bragg. A dependência do deslocamento do comprimento de onda de Bragg com a variação de temperatura e com a deformação será vista com detalhes na seção 2.2.

2.1. Refletividade da rede de Bragg uniforme

Considere uma rede de Bragg uniforme formada com o núcleo da fibra óptica com um índice de refração médio n_0. O perfil do índice de refração pode ser expresso por [6]:

$$n(z) = n_0 + \Delta n \cos\left(\frac{2\pi z}{\Lambda}\right) \tag{2.5}$$

onde Δn é a amplitude da perturbação do índice de refração induzido e z é a distância ao longo da fibra, limitado à região de escrita da rede.

A refletividade da rede é um parâmetro importante que pode ser controlado durante seu processo de fabricação. A refletividade da rede cresce com o aumento da mudança no índice de refração induzido, e também com o aumento do comprimento da rede.

A reflexão de uma rede de Bragg pode variar de valores próximos a 100% a valores tão baixos quanto necessário, próximos a 0% de refletividade. A dificuldade de fabricação da rede aumenta com o aumento da sua refletividade. Redes de baixa refletividade são de mais fácil fabricação.

Um outro parâmetro importante do espectro de reflexão de uma rede de Bragg é sua largura de banda a meia altura (FWHM – Full Width Half Maximun). Para redes de baixa refletividade que são de maior relevância nesta dissertação de mestrado como será visto posteriormente, a largura de banda a meia altura pode ser aproximada por:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \approx \frac{1}{N} \qquad (2.6)$$

onde N é o número de planos da rede dado pela divisão do comprimento efetivo da rede dividido pelo período do índice de modulação do núcleo Λ.

Para redes de 1mm de comprimento e Λ = 0,5 μm tem-se N = 2 x 10^3. Considerando a equação (2.1), tem-se λ_B = 1,5 μm, e conseqüentemente um $\Delta\lambda$ de 0,75 nm.

2.2. Sensibilidade da rede de Bragg em função da temperatura e da deformação

A ressonância da rede de Bragg, que é o comprimento de onda central da luz refletida, depende do índice de refração efetivo do núcleo da fibra e da periodicidade da rede. O índice de refração efetivo, assim como o espaçamento periódico entre os planos da rede, será afetado pela deformação da rede e por mudanças na temperatura. O deslocamento no comprimento de onda central de Bragg devido a mudanças na temperatura e a deformação da rede é dada por [6]:

$$\Delta\lambda_B = 2\left(\Lambda\frac{\partial n_{eff}}{\partial l} + n_{eff}\frac{\partial\Lambda}{\partial l}\right)\Delta l + 2\left(\Lambda\frac{\partial n_{eff}}{\partial T} + \frac{\partial\Lambda}{\partial T}\right)\Delta T \qquad (2.7)$$

O primeiro termo da equação acima representa o efeito da deformação na fibra óptica.

O termo que representa a deformação pode ser expresso por:

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B(1 - p_e)\varepsilon_Z \tag{2.8}$$

onde p_e está relacionada às propriedades elastoópticas do material da fibra e pode ser expandido em:

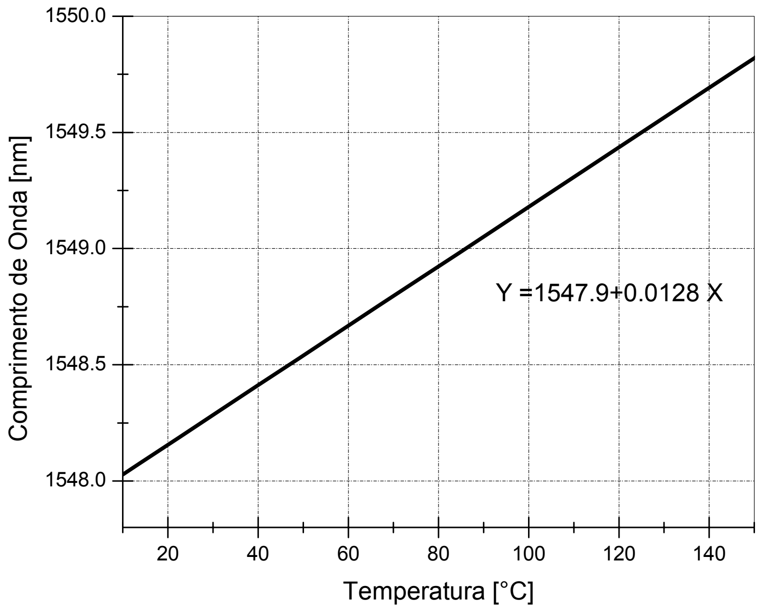
$$p_e = \frac{n_{eff}^{\ 2}}{2}[p_{12} - \nu(p_{11} + p_{12})] \tag{2.9}$$

p_{11} e p_{12} são componentes do tensor elastoóptico, e ν é o coeficiente de Poisson. Para uma fibra óptica típica, p_{11} = 0,113, p_{12} = 0.252, ν= 0,16, e η_{eff} = 1.482 [6]. Usando esses parâmetros e as equações descritas, a sensibilidade de deformação em 1550 nm é uma mudança de 1,2 pm como resultado de uma deformação de 1 $\mu\varepsilon$ para a rede de Bragg. Resultados experimentais para um deslocamento central do comprimento de onda de Bragg referentes a variação de temperatura e a aplicação de deformação em uma rede em 1548,2 nm é mostrada na figura 3.3 [6].

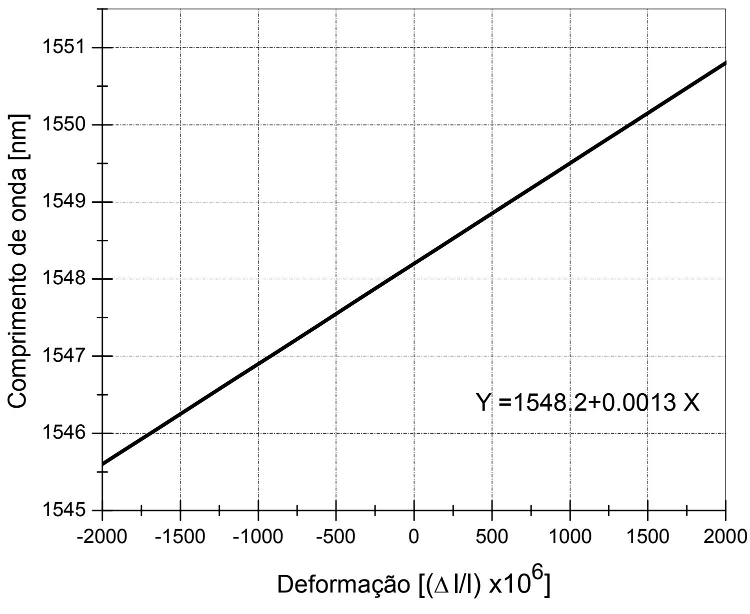
O segundo termo da equação (2.7) representa o efeito da temperatura numa fibra óptica. Um deslocamento no comprimento de onda de Bragg se deve a mudanças na expansão térmica que modifica o espaçamento das redes e da variação do índice de refração. Esse deslocamento fracional do comprimento de onda, para uma mudança de temperatura ΔT, pode ser escrita por:

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B(\alpha_\Lambda + \alpha_n)\Delta T \tag{2.10}$$

onde $\alpha_\Lambda = \left(1/\Lambda\right)\left(\partial\Lambda/\partial T\right)$ é o coeficiente de expansão térmica para a fibra . A quantidade $\alpha_n = \left(1/n_{eff}\right)\left(\partial n_{eff}/\partial T\right)$ representa o coeficiente termo-óptico, que é de aproximadamente 8.6×10^{-6} para fibras com núcleo dopado com *Ge*. Somandose os dois efeitos, a sensitividade esperada para uma rede de Bragg em 1550nm é de aproximadamente 10 pm/°C.



(a)



(b)

Figura 2.3 - Deslocamento central do comprimento de onda em uma rede em 1548,2 nm: (a) em função da temperatura; (b) em função da deformação.

Fica claro agora que qualquer mudança no comprimento de onda, associada com a ação externa de uma perturbação na rede , é a soma dos termos de temperatura e deformação.