

장주기 광도파로 브래그 격자 구조에 기반한 온도변화에 무관한 굴절률 측정계 분석

Long-period waveguide Bragg grating based temperature-insensitive refractometer

황석현, 김경현, 이민희, 이석목, 안신모*, 이일항*

인하대학교 물리학과, *정보통신대학원

hwang0508@hotmail.com

근래에 들어와 장주기 격자는 온도에 의존하는 공진 파장의 큰 변화 특성으로 다양한 광필터로의 응용에 대한 인식이 커져가고 있다.⁽¹⁾ 기존의 광섬유 타입 장주기 격자는 낮은 광학적 손실과 사용의 편리성으로 많은 연구가 이루어져 오고 있다. 반면에 폴리머를 이용한 평면 도파로형 장주기 격자(LPWG) 구조는 대량생산이 용이하고, 다른 광 기능 소자와의 집적화에 유리한 장점을 가지고 있다.⁽²⁾ 본 연구에서는 4층 구조를 가진 LPWG 광 도파로에서 상위 클래드층 시료의 굴절률 변화에 따른 공진 파장의 의존성을 이론적으로 확인하고, 온도 변화에도 불구하고 안정적인 특성을 가지는 굴절률 측정 센서 구조의 최적화 파라미터들의 다양한 조건을 계산한 결과를 소개한다.

장주기 격자의 위상 정합 조건과 온도 변화에 따른 공진 파장의 변화는 다음과 같이 각각 나타내어질 수 있다.

$$\lambda = (n_{co_eff} - n_{clad_eff}^m) \Lambda \quad (1) \quad \frac{d\lambda}{dT} = \left(\frac{dn_{co_eff}}{dT} - \frac{dn_{clad_eff}^m}{dT} \right) \Lambda + (n_{co_eff} - n_{clad_eff}^m) \frac{d\Lambda}{dT} \quad (2)$$

여기서 λ 는 공진 파장, n_{co_eff} 와 $n_{clad_eff}^m$ 은 각각 기본 코어 모드와 m 번째 클래드 모드의 유효 굴절률, Λ 는 격자의 주기이다. 식 (1)과 (2)로부터 온도가 ΔT 변화하는 동안 공진파장의 변화는 코어와 클래드의 굴절률 변화와 열팽창계수와 관련되어 있다. 온도 변화에 의한 격자주기의 팽창은 도파로의 열팽창 계수를 α 라 할 때, 변화하는 길이는 $\Delta L = \alpha L \cdot \Delta T$ 로 계산된다. 온도상승에 의한 열팽창으로 생기는 격자주기 및 공진파장의 변화와 굴절률 변화로 생기는 격자주기 및 공진파장의 변화가 상호 보완적으로 변하는 조건을 계산하여 비교하였다.

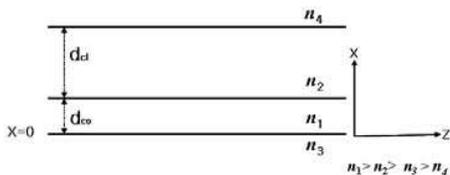


그림 1. 4층 구조의 도파로

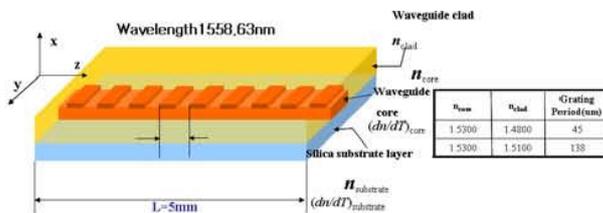


그림 2. 4층 구조의 장주기 격자

그림 1은 광도파로 구조를 나타낸 것이고, 그림 2는 장주기 도파로 격자 구조를 보여준다. 여기에서 기판(substrate)의 굴절률은 1.45(n_4), 공기의 굴절률(n_3)은 1.0로 계산 하였다. 그리고 코어와 클래드의 두께가 각각 $d_{co} = 2 \mu m$ 와 $d_{clad} = 6 \mu m$ 일 때의 계산 결과를 보여주고

있다. 폴리머의 열팽창 계수는 약 $2.5 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ 이고, 열광학계수(dn/dT)는 $-1.0 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C} \sim -3.0 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ 범위에 있다. 실리카의 경우에는 각각 $1.4 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 와 $+8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 이다.

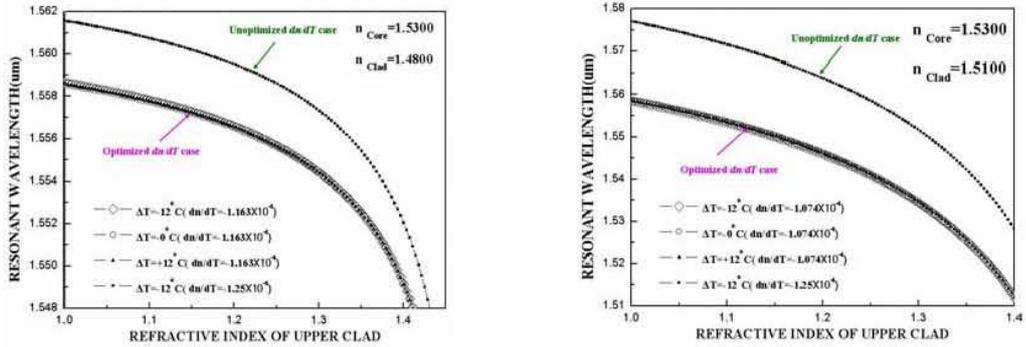


그림 3. 장주기 격자에서 온도와 열광학계수 값에 따른 서로 굴절률 변화에 대한 공진 파장의 이동

그림 3은 코어와 클래드의 굴절률이 각각 1.53/1.48일 때와 1.53/1.51일 때 온도 변화에 대한 장주기 격자주기의 열팽창과 코어층 및 클래드층의 dn/dT 에 대한 굴절률 변화에 의한 공진 파장 변화 효과를 합한 결과를 나타낸다. 또한 장주기 격자의 상위 클래드 층의 굴절률 변화에 대한 공진파장의 이동 결과를 보여주고 있다. 또한 온도 안정화가 가능한 코어의 dn/dT 값은 각각 $-1.163 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$, $-1.074 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ 로 나타났고, 상위 클래드의 굴절률 변화 1.0~1.4에서의 온도안정화 조건은 각각 $\pm 12^\circ\text{C}$, $\pm 12^\circ\text{C}$ 로 나타났다. 이때의 공진 파장의 이동은 $\pm 0.05 \text{ nm}$ 의 범위 안에 있음을 알 수 있고, 굴절률 측정 감도는 각각 0.1 nm당 0.004170, 0.000849로 나타났다.

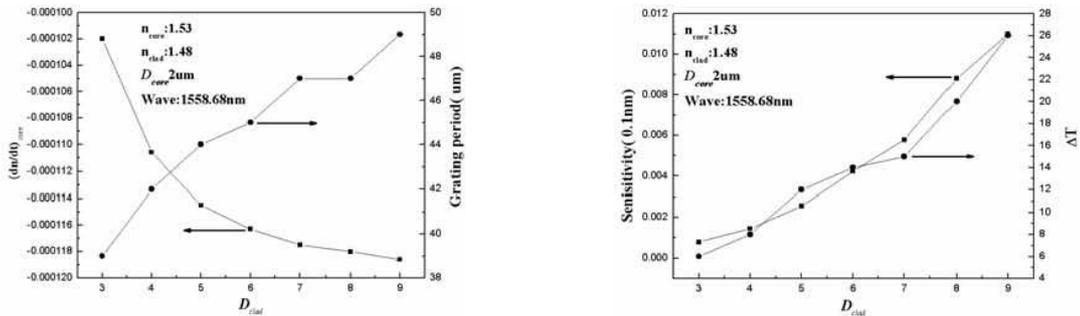


그림 4. 주어진 코어와 클래드의 굴절률에 대해 클래드의 두께변화에 따른 굴절률 민감도, 온도 안정화 영역과 코어의 최적 열광학계수와 격자주기

그림 4는 코어와 클래드의 굴절률이 각각 1.5300이고 1.4800인 경우의 클래드의 두께 변화에 대한 공진 파장이 1558.68 nm일 때의 격자주기와 코어의 dn/dT , 굴절률 측정 민감도 및 온도 안정화 영역을 보여주는 그래프들이다. 클래드의 두께를 변화시키면, 격자 주기는 점점 증가 하고, 코어의 온도 안정화 구조의 최적 dn/dT 값은 음의 부호를 가진 점점 작은 값으로 변화하는 경향을 보였다. 또한 공진파장 변화 0.1 nm당 상위 클래드 굴절률 변화 민감도는 나빠지고 온도 안정화 구조의 최대 온도 영역은 점점 증가하였다.

본 연구에서는 1.5 μm 광통신파장 영역의 폴리머 광도파로 기반 장주기 격자의 파라미터에 따른 온도 변화에도 일정한 특성을 갖는 굴절률 센서에 대한 계산 결과를 제시하였다.

- (1) M. S. Kwon and S.Y. Shin, IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 17, no. 1, pp. 145-147 (2005)
- (2) K. S. Chiang, et al., Electron. Lett., vol. 40, no. 7, pp. 422-424 (2004).