

측면연마된 광섬유와 열광학 평면도파로 결합기에서 광통신

파장영역의 광세기변화를 이용한 광섬유형 온도센서

Fiber optic temperature sensor using optical intensity variation at optical communication wavelength range in side-polished fiber to thermo-optic polymer planar waveguide couplers

정 응규, 김 시홍, 박 형준, 김 광택*, 송 재원*, 강 신원**

경북대학교 센서공학과, 경북대학교 전자전기공학부*, 경북대학교 센서기술연구소**

wangsatang@hanmail.net

본 논문은 광통신 파장(1.3 μm)에서 측면 연마된 광섬유와 열광학 평면도파로 결합기의 온도변화에 따른 광의 세기변화를 이용한 광섬유형 온도센서에 관한 연구이다. 본 연구에서 제안된 소자는 광통신영역에서 변화를 가지기 때문에 원거리 측정이 가능하고 열광학 평면도파로의 물질의 선택과 소자의 구조에 따라 넓은 온도감지 범위와 높은 분해능을 가지는 소자의 구현이 가능하다.

소자는 적절한 곡률반경과 연마깊이가 고려된 실리콘 V홈을 이용하여 측면 연마된 광섬유 블록(Block)을 제작하고 열광학 폴리머 평면도파로를 스피코팅 과정을 통해 제작하였다. 그림 1의 구조와 같이 측면이 코어 가까이 연마된 단일모드 광섬유와 다중모드를 가지는 평면도파로의 소산장 결합(Evanescent Field Coupling)이 형성되면 두 광경로 사이에 광에너지 교환이 발생할 수 있다. 평면도파로는 여러 모드를 가질 수 있으며 이중에 광섬유 모드와 위상정합(Phase Matching) 조건을 만족하는 모드가 효과적인 광 결합을 일으킨다. 다중모드를 가지는 평면도파로의 m번째 모드의 유효굴절률을 찾기 위한 고유치 방정식은 다음과 같다^[1].

$$\frac{2\pi d}{\lambda} (n_o^2 - n_{eo}^2)^{1/2} = m\pi + \psi_1 + \psi_2 \quad (1)$$

여기서 m은 모드의 차수를 나타내는 정수, λ 는 광의 파장, d는 평면도파로의 코어층 두께, n_o 는 평면도파로의 코어 굴절률 그리고 n_{eo} 는 m번째 고차모드의 유효 굴절률이다. ψ_1 과 ψ_2 는 평면도파로의 코어층과 클래딩층의 경계에서 발생하는 모드의 위상천이를 나타내며 평면도파로가 대칭적 구조일 때 정성적 해석을 위해서 식(1)의 오른쪽 ψ_i 항을 무시하면 아래와 같은 간단한 식이 유도된다.

$$2d(n_o^2 - n_{eo}^2)^{1/2} \simeq m\lambda_0 \quad (2)$$

본 논문에서는 편광의존성을 없애기 위하여 상부도파로 물질을 광섬유 클래딩의 굴절률과 동일한 SiO_2 를 사용하였으며 이 때 공진파장 λ_0 는 평면도파로의 굴절률(n_o)과 두께에 따라 결정된다. 이러한 소자에 온도변화를 주었을 때 상부클래딩의 유효굴절률이 변화하게 되고 이는 공진파장의 이동으로 나타난다^[2]. 공진파장의 이동은 일정한 파장에서 광의 세기 변화로 나타나며 본 연구에서는 1.3 μm 의 광통신 파장에서 광세기를 측정하였다.

제작된 소자의 특성을 측정하기 위한 장치도는 그림 2와 같다. 그림 2(a)는 백색광원의 출력을 배울

10과 20의 대물렌즈를 통하여 광섬유의 한쪽 단면에 결합한 후 온도조절기에 의한 공진파장의 변화를 측정할 장치도이다. 측정파장 범위는 1.2~1.6 μm 이며 5nm 해상도를 가지고 측정하였으며 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 의 정확도를 가지는 온도 제어기는 제작된 광섬유형 온도센서의 온도특성을 측정하기 위하여 사용되었다. 그림 2(b)는 광통신파장의 광원을 소자에 입력한 후 온도변화를 주었을 때 광의 세기를 측정하기 위한 장치도이다. 온도에 따른 공진파장의 이동은 그림 3과 같다. 본 연구에서 제작한 소자는 평면도파로의 굴절률과 두께, 연마정도를 그림 3에 나타난 것과 같이 넓은 공진파장의 영역을 가지도록 하였으며 이는 보다 높은 분해능과 넓은 온도 감지 범위를 위해서이다. 그림 3에서는 온도가 증가함에 따라 공진파장이 짧아지는 현상이 관측되었고 제작된 소자에서는 약 $-2.98\text{nm}/^\circ\text{C}$ 의 변화를 보였다. 폴리머는 일반적으로 실리카 계열 물질보다 열광학 계수가 1차수 더 크기 때문에 온도가 올라감에 따라 폴리머 도파로의 굴절률이 감소하는데 이 때문에 공진파장이 감소한 것으로 분석된다. 그림 4는 광통신파장에서 온도에 따른 광세기의 변화를 측정한 것이다. 23 $^\circ\text{C}$ 에서 100 $^\circ\text{C}$ 까지의 온도변화를 주었을 때 광의 세기 변화는 약 $3.65\text{dB}/^\circ\text{C}$ 의 변화를 보였다. 본 연구에서 제안된 온도센서는 물질의 열광학 계수, 굴절률, 소자구조 등을 조절할 경우 높은 분해능과 넓은 영역의 온도감지가 가능할 것으로 보인다.

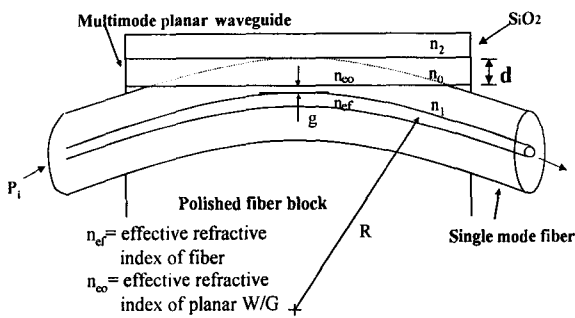
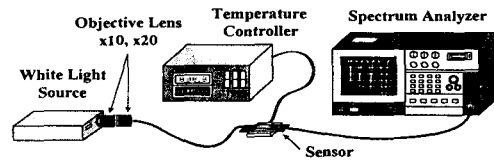
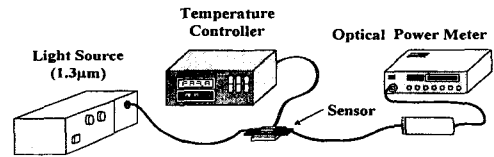


그림 1. 측면연마된 단일모드 광섬유와 평면도파로의 소산장결합을 이용한 광센서 구조



(a) 온도에 따른 공진파장의 이동측정



(b) 1.3 μm 파장에서 온도에 따른 광의 세기변화 측정

그림 2. 측정장치도

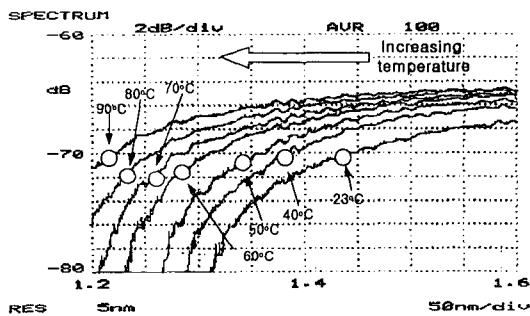


그림 3. 온도에 따른 파장응답 특성

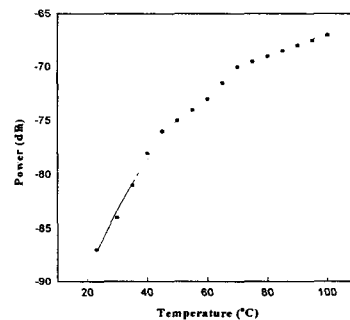


그림 4. 온도에 따른 광세기변화 측정 ($\lambda = 1.3\mu\text{m}$)

참고문헌

[1] W. Johnstone, G. Fawett, L.W.K. Yim, IEE Proc-optoelectron, 141, 229 (1994).
 [2] 김 광택, 이 소영, 손경락, 이종훈, 송 재원, 이 상재, 김 시흥, 강 신원, 한국광학회지, 10, 419 (1999)