

측면연마된 단일모드 광섬유와 열광학폴리머 평면도파로

결합기를 이용한 고감도 온도센서

High sensitive temperature sensor using side-polished single mode fiber to thermo-optic polymer planar waveguide couplers

김상우, 정용규, 장수원, 강경목, 이종훈*, 송재원*, 이승하*, 김광택**, 강신원***

경북대학교 센서공학과, 경북대학교 전자공학과*, 호남대학교 전자공학과**

경북대학교 센서기술연구소***

swkang@kyungpook.ac.kr

광섬유형 센서는 전자기 간섭에 강하고 높은 감도와 원거리측정 등의 장점이 있어 이에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 온도센서의 경우 다양한 구조의 센서 구현이 용이하고 넓은 온도범위에서의 측정이 가능하다. 하지만 이러한 광섬유형 센서는 대부분 온도변화를 물리량의 변화로 감지하기 때문에 작은 온도의 감지에는 구조적인 한계를 가지는 경우가 많으며 이러한 문제점을 개선하기 위하여 많은 연구가 시도되고 있다^[1]. 본 논문은 이러한 점을 인지한 측면연마된 광섬유와 평면도파로 결합기형 고감도 온도센서에 관한 연구이다. 본 연구에서는 온도의 감지를 열광학 평면도파로의 열광학계수에 의존하기 때문에 물질의 변화에 따라 다양한 온도감도 조절과 높은 분해능을 가지는 센서의 구현이 가능하다.

본 연구에서 제작된 센서의 구조는 그림 1과 같다. 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 이 중에 광섬유 모드와 위상정합(phase matching) 조건을 만족하는 모드가 효과적인 광 결합을 일으킨다. 다중모드를 가지는 평면도파로의 m번째 모드의 유효굴절률을 찾기 위한 고유치 방정식은 다음과 같다^[2].

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

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.

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

본 논문에서는 편광의존성을 없애기 위하여 상부도파로 물질을 광섬유 클래딩의 굴절률과 동일한 SiO₂를 사용하였으며 이 때 공진파장 λ_0 는 평면도파로의 굴절률(n_o)과 두께에 따라 결정된다. 이러한 소자에 온도변화를 주었을 때 평면도파로의 열광학 효과에 의하여 유효굴절률이 변화하게 되고 이는 공진파장의 이동으로 나타난다.

제작된 소자는 적절한 곡률반경과 연마깊이가 고려된 실리콘 V홈을 이용하여 측면 연마된 광섬유 블록(block)을 제작하고 광섬유를 에폭시 수지로 접착한 후 연마가루를 이용하여 측면을 연마하였다. 열

평행 폴리머 평면도파로는 온도센서의 감도조절을 위하여 AZ1512, AZ4562, 폴리스티렌, NOA61 등 다양한 물질을 사용하였으며 스펀코팅 과정을 통해 제작하였으며 백색광원과 OSA를 사용하여 온도에 의한 공진파장의 변화를 측정하였다. OSA는 5nm 해상도를 가지고 측정하였으며 온도조절기를 사용하여 센서에 열을 가하여 안정화 시킨후 제작된 소자 위에 써모커플(thermo-couple)을 부착하여 온도변화를 측정하였다.

그림 2는 평면도파로 물질로 AZ1512를 사용하였을 경우 온도에 따른 파장응답특성이다. 실온(27°C)에서 70°C까지 온도변화를 주었을 때 공진파장의 변화는 $-0.6975\text{nm}/^\circ\text{C}$ 이며 온도가 증가함에 따라 공진파장이 짧아지는 현상이 관측되었다. 이러한 현상은 본 연구에서 측정된 물질에 따라 그 정도가 다르게 나타나며 폴리머의 경우 일반적으로 실리카 계열 물질보다 열팽창 계수가 1차수 더 크기 때문에 온도가 올라감에 따라 폴리머 도파로의 굴절률이 감소하는데 이 때문에 공진파장이 감소한 것으로 분석된다. 그림 3은 NOA61을 평면도파로로 사용하였을 경우 실온(27°C)에서 49°C까지의 파장응답특성이다. NOA61의 경우 전체적으로 공진파장이 줄어드는 현상은 적었으며 공진파장의 변화는 $-2.65\text{nm}/^\circ\text{C}$ 로 1°C 온도변화의 측정이 가능하였다. 그림 4는 평면도파로의 물질에 따른 파장변화를 나타낸 것이다. 물질에 따라 다양한 공진파장의 차이를 보였으며 이는 다양한 감도를 센서의 구현이 가능함을 알 수 있다. 본 연구에서 제안된 온도센서는 물질의 열팽창 계수, 굴절률, 소자구조 등을 조절할 경우 높은 분해능과 넓은 영역의 온도감지가 가능할 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] Jaehoon Jung, Hui Nam, Byoungho Lee, Jaeh Byun, Namseong Kim, Applied Optics, 38,13(1999).
- [2] W. Johnstone, G. Fawett, L.W.K. Yim, IEE Proc-optoelectron, 141, 229(1994).

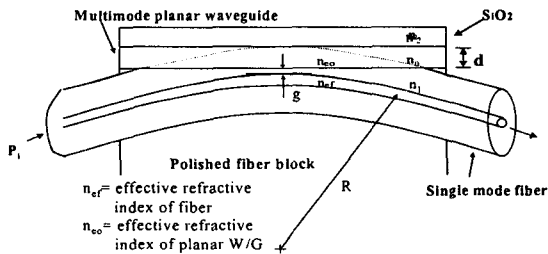


그림 1. 측면연마된 단일모드 광섬유와 평면도파로의 소산장결합을 이용한 광센서 구조

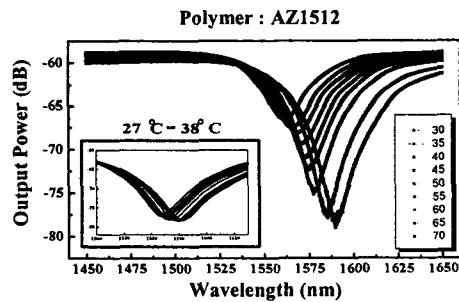


그림 2. AZ1512의 온도에 따른 파장응답 특성

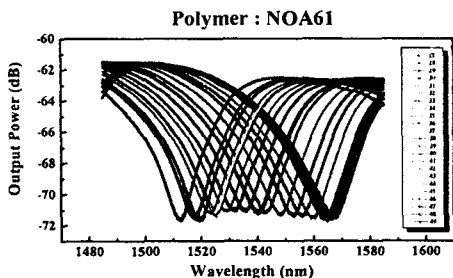


그림 3. NOA61의 온도에 따른 파장응답 특성

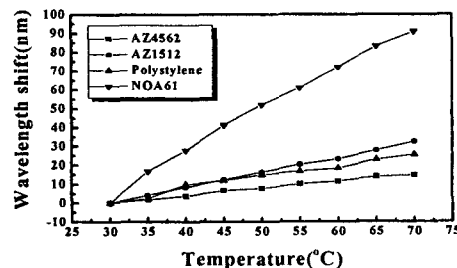


그림 4. 평면도파로물질의 종류에 따른 파장변화