

## 측면 연마 광섬유와 결합된 상부 도파로의 클래딩을 이용한 편광 무의존 온도센서

손경락<sup>†</sup>

구미기능대학 정보통신시스템학과  
Ⓣ 730-030 경북 구미시 공단동 112

김광택

호남대학교 광전자공학과  
Ⓣ 506-714 광주광역시 광산구 서봉동 59-1

송재원

경북대학교 전자전기컴퓨터학부  
Ⓣ 702-701 대구광역시 북구 산격동 1370

(2002년 8월 1일 받음, 2002년 11월 8일 수정본 받음)

본 논문에서는 측면연마 광섬유 결합기 구조에서 평면 도파로의 상부와 하부 클래딩의 열광학 효과를 이용하여 온도를 측정할 수 있는 편광 무의존 온도 센서를 제안하고 있다. 평면 도파로는 170 μm 두께의 현미경용 덮개 유리를 적용함으로써 급격한 온도 변화에 대해 도파로의 변형이 발생하지 않고, 비대칭적 평면 도파로 구조로 인한 편광 의존 손실을 최소화하기 시킬 수 있는 장점을 가진다. 제작된 소자의 편광 의존 손실은 0.3 dB 이하로 측정되었다. 피측정체의 온도는 센서의 결합 파장 이동으로부터 계측되어진다. 평면 도파로의 상부와 하부 클래딩의 열광학 계수에 따른 온도 센서의 온도 민감도를 측정하였고, 상·하부 클래딩의 열광학 계수 변화로 온도 민감도를 제어할 수 있음을 보였다.

주제어 : side-polished fiber, fiber-optic sensor, polarization insensitivity, thermo-optic effect.

### I. 서 론

광섬유의 측면을 일부 연마하여 소산장( evanescent field )을 클래딩의 외부로 유도함으로써 외부 섭동에 대한 적절한 반응을 보이는 소자에 대한 다양한 연구 결과가 많이 보고되고 있다. 이 소자는 제작공정이 간단하고, 고가의 장비가 없이도 반복적으로 쉽게 제작되어질 수 있으며, 광섬유상에서 광학적인 기능이 구현되어지는 장점이 있다. 최근까지 광통신 소자로 필터,<sup>[1,3]</sup> 스위치,<sup>[4]</sup> 변조기,<sup>[5]</sup> 편광기<sup>[6]</sup> 등의 다양한 기능을 구현할 수 있음이 보고되고 있다. 한편, 측면 연마된 광섬유의 소산장이 외부 환경에 민감함을 이용하여 광섬유 센서로도 활용이 가능하다. 광섬유의 클래딩에 직접적으로 센서의 기능을 부여함으로써 측정 민감도와 신뢰도가 우수하고, 다른 소자와 결합시 발생하는 삽입 손실이 없으므로 온도,<sup>[7]</sup> 습도,<sup>[8]</sup> 압력,<sup>[9]</sup> 금속박막의 두께,<sup>[10]</sup> 굴절률<sup>[11]</sup> 등의 물리량을 측정하는 소자로 개발되고 있다. 그러나, 편광 의존성을 줄이기 위하여 부가적인 공정이 필요하거나 또는 구조적으로 편광의존성을 피할 수 없는 단점들을 가지고 있다. 기존에 보고된 측면연마 광섬유 온도센서<sup>[7,12]</sup>는 상부 평면 도파로를 열광학 계수가 큰 폴리머 계열의 물질로 제작함으로써 상부 도파로의 굴절률 변화

에 대한 결합 파장의 이동을 유도하는 원리이다. 이 방법은 수 μm 정도의 박막 도파로가 외부의 섭동에 직접 영향을 받아 응답을 하는 것으로 도파로가 손상을 받게되거나 변형이 발생하면 측정결과와 신뢰성을 확보할 수 없다. 또한 평면 도파로의 상부와 하부 클래딩의 굴절률이 비대칭적일 경우 구조적인 불균질물로 인한 편광 의존성이 나타나고 이를 없애기 위해서는 대칭적인 구조로 만들어야하는 추가적인 공정이 필요하다.

본 논문에서는 편광 의존성이 없는 온도센서를 측면연마 광섬유와 두꺼운 상부 평면 도파로로 이루어진 결합기 구조에서 평면 도파로의 상·하부 클래딩의 열광학 계수를 이용하여 구현하고자 한다. 광섬유 모드가 상부 도파로의 최고차 모드와 최대 광 결합이 일어나는 파장은 상부 도파로의 조건(굴절률 및 두께)에 의해서 지배적으로 결정되지만, 상부 도파로 조건이 변하지 않는다면 상·하부 클래딩의 굴절률 변화 정도에 결합파장이 민감하게 반응하므로 이러한 성질을 이용하면 광섬유형 온도 검출 소자를 구현할 수 있다. 따라서, 상·하부 클래딩으로 열광학 계수가 큰 물질을 사용하여 온도 민감도가 높은 온도센서로 활용할 수 있다. 만약, 온도 민감도를 임의로 조절해야할 경우에는 상부 클래딩의 물질을 열광학 계수가 다른 물질로 교체하는 것만으로도 쉽게 구현되어 질 수 있는 장점이 있다.

<sup>†</sup>E-mail: krsohn99@hanmail.net

II. 이론적 해석

제안된 온도센서는 그림 1과 같이 측면 연마된 단일모드 광섬유 상부에 평면 도파로가 부착된 구조를 가진다. 여기서, 광섬유의 코어와 클래딩, 평면 도파로의 굴절률은 각각  $n_f$ ,  $n_c$ ,  $n_o$ 로 표시하고, 평면 도파로와 연마후 남은 클래딩의 두께는 각각  $d_o$ 와  $s_o$ 로 표시한다. 광섬유로 입사된 광전력은 측면이 일부분 연마된 클래딩 영역으로 소산장의 일부가 외부로 빠져 나오며, 이를 평면 도파로로 결합시키는 결합기 구조를 기본으로 하고 있다. 여기서 두 도파로의 유효 굴절률이 동일해지는 ( $n_{ef} = n_{of}$ ) 특정 파장에서 최대 광 결합이 일어나며, 이때의 파장을 결합 파장이라 한다. 따라서 이 결합기는 주기적으로 대역제거 필터 응답이 나타나는 특성을 보인다. 만약, 평면 도파로에 많은 모드가 존재하는 분산적인 특성을 가진다면, 광 결합이 좁은 대역내에서 주기적으로 일어날 수 있다. 이 소자의 동작이론에 대한 정성적인 해석은 평면 도파로의 고유치 방정식으로부터 얻어진다. 평면 도파로의 단면 공동 공진 조건으로부터 다음과 같은 식이 얻어진다.<sup>[13]</sup>

$$\frac{2\pi d_o(n_o^2 - n_{ef}^2)}{\lambda_v} = v\pi + \phi_{c1} + \phi_{c2} \tag{1}$$

여기서,  $v$ 는 평면 도파로의 결합모드 차수,  $\lambda_v$ 는  $v$ 차 결합 파장,  $n_{ef}$ 는 광섬유 코어의 유효 굴절률이며  $\phi_{ci}$ 는 평면 도파로의 상부와 하부 클래딩에서 일어나는 소산장의 위상 천이를 나타낸다.

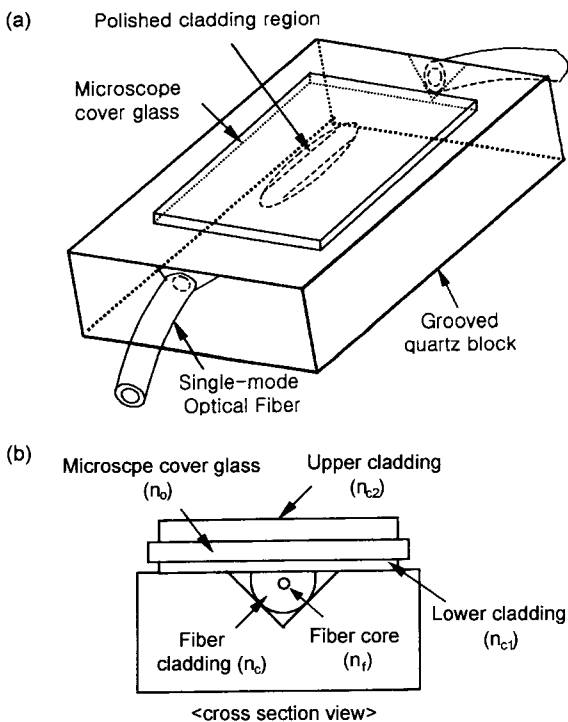


그림 1. (a) 측면연마 광섬유 결합기를 이용한 온도센서의 개략도와 (b) 단면도.

$$\phi_{ci(i=1,2)} = \tan^{-1} \zeta \frac{(n_{ef}^2 - n_{ci}^2)^{1/2}}{(n_o^2 - n_{ef}^2)^{1/2}} \tag{2}$$

여기서,  $\zeta$ 는 TE에 대해서는 1, TM에 대해서는  $(n_o/n_{ci})^2$ 으로 표현되는 편광 의존 상수이고  $n_{ci(i=1,2)}$ 는 평면 도파로의 상부와 하부 클래딩의 굴절률이다.

만약, 하부 클래딩( $n_{c1}$ ) 또는 상부 클래딩( $n_{c2}$ )의 굴절률이 변한다면 위상 천이  $\phi_{ci}$ 의 값도 변하게 된다. 이는 식 (1)에서 결합 파장의 이동을 의미하게 되는 것이다. 본 논문에서 제안하고 있는 온도 센서의 원리는 온도의 변화에 대한 상부와 하부 클래딩의 굴절률이 동일한 방향으로 선형적으로 변함에 따른 특정 모드에 대한 결합 파장의 이동된 정도를 통해 온도 변화량을 측정하고자하는 것이다. 상부와 (또는) 하부 클래딩으로 열 광학계수가 큰 폴리머 계열의 물질을 사용한다면 열 광학 효과에 의해 온도에 따른 결합 파장의 이동을 식 (1)로 유도할 수 있다. 기준 온도에서의 결합파장을  $\lambda_0$ , 상하부 클래딩의 굴절률의 변화( $n_{ci} = n_{ci}'$ )에 의해 이동된 결합 파장을  $\lambda'$  ( $=\lambda_0 + \Delta\lambda$ )이라 한다면 결합파장의 이동( $\Delta\lambda$ )은 다음과 같은 식으로 나타내어진다.

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_0^2(\phi_{ci} - \phi_{ci}')}{2\pi d_o(n_o^2 - n_{ef}^2)^{1/2} - \lambda_0(\phi_{ci} - \phi_{ci}')} \tag{3}$$

여기서  $\phi_{ci}'$ 는 식 (2)에서  $n_{ci} = n_{ci}'$ 일 때의 위상천이를 나타낸다. 두 도파로의 굴절률과 평면 도파로의 두께가 고정되어 있다면 결합 파장의 이동은  $\phi_{ci}'$ 에 의존함을 알 수 있다. 상부 또는 하부 클래딩이 열광학 계수가 크다면 온도 변화에 대한 위상 천이량도 크게 나타나므로 온도 민감도가 높은 센서를 제작할 수 있음을 알 수 있다. 동일한 결합 모드에서 TE와 TM 편광에 대한 결합 파장의 차이는 제작된 센서의 굴절률이 고정된 경우라면 평면 도파로의 두께에 의존하게 되는데 두께가 증가할수록 두 편광에 대한 결합 파장의 차이는 지수 함수적으로 감소하게 되고 170  $\mu\text{m}$  두께의 유리에서는 0.5 nm 이하가 된다.<sup>[14]</sup> 그러므로, 두꺼운 평면 도파로를 적용하여 구조적인 복굴절의 영향을 최소화시킬 수 있다.

III. 소자 설계 및 실험 결과

단일모드 광섬유의 소산장을 효과적으로 유도하고 이를 상부 평면 도파로와 강한 광 결합작용이 일어나도록 하기 위하여 광섬유를 적당한 반경으로 휘 후 이를 블록에 고정하고 클래딩의 일부분을 연마하는 방법을 이용하였다. 이 구조는 광섬유의 소산장에 의한 평면 도파로로의 광 전력 전달이 매우 좁은 영역에서 일어나며 평면 도파로로 한번 결합된 광 전력은 광섬유로 재결합되지 않으므로 소자 구현이 매우 용이하다. 광섬유는 25 cm 정도의 반경으로 خم이 파진 유리블록에 고정되어지고 접착제를 이용하여 붙인다. 이 블록을 연마패드와 분말을 이용하여 적당한 두께까지 연마한다. 광섬유가 블록상에서 휘어져 있기 때문에 연마시에는 중간 부분에서 먼저 클래딩이 노출되어진다. 광섬유의 코어에서 클래딩까지 가장 가까

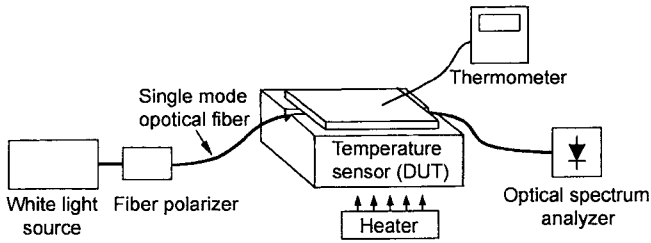


그림 2. 온도센서의 특성을 측정하기 위한 실험 장치도.

운 거리가  $1.5\ \mu\text{m}$  정도가 될 때까지 연마하게 되는데 클래딩의 두께는 정합액의 굴절률 변화에 대한 광 손실 측정법으로 계산해낼 수 있다. 즉, 노출된 클래딩 부위에 굴절률이 다른 정합액을 도포하고 광손실을 측정하여 최대 손실이 발생하는 굴절률을 알게 되면 연마 후 남은 클래딩의 두께를 유추할 수 있는 것이다. 연마 깊이는 상부 도파로의 조건에 따라 달라지므로 최대 광 결합이 일어날 수 있는 적당한 두께를 찾아야 한다.

본 논문에서는  $170\ \mu\text{m}$  두께의 현미경용 덮개 유리를 상부 평면 도파로로 사용하였다. 두께가 두껍고 물질의 복굴절률이 없으므로 소자의 편광 의존성을 없앨 수 있을 뿐만 아니라, 원하는 두께를 얻기 위한 부가적인 공정이 불필요하므로 소자 제작이 용이하다. 또한 유리의 경우 열광학 계수는 양의 값을 가지며, 그 크기는  $\sim 10^{-5}$ 로서 폴리머 보다 한 차수 정도 작기 때문에 폴리머 물질에 비해 온도 변화에 대한 결합 파장의 이동 정도는 무시할 수 있다. 현미경 덮개 유리를 적용할 경우 최적 광 결합이 일어날 수 있는 남은 클래딩의 적정 두께는 빔 전파 방법 (beam propagation method; BPM)을 이용하여 전산모의한 결과  $2\sim 3\ \mu\text{m}$ 로 계산되었다. 그러나, 평면 도파로를 측면 연마된 광섬유 블록상에 붙일 때 두 도파로 사이에 열 광학 계수를 가진 폴리머 물질을 도포해야 하므로 그 두께를 고려하여 남은 클래딩의 두께가  $1.5\ \mu\text{m}$ 가 되도록 하였다.<sup>[3]</sup> 광 접착제의 일종인 NOA61을 사용하여 현미경용 덮개 유리를 클래딩이 노출된 광섬유 블록위에 접착하였다. NOA61은 두 도파로를 부착하는 역할과 더불어 열 광학 효과로 인한 온도 변화에 반응할 수 있는 역할을 하게 된다.

그림 2는 실험 구성도를 보여주고 있다. 소자의 파장 응답 특성을 측정하기 위하여 백색 광원을 사용하였으며 투과 스펙트럼은 광 스펙트럼 분석기를 사용하였다. 편광에 따른 투과 스펙트럼을 비교하기 위하여 광섬유형 편광기를 광원과 온도센서 사이에 장착하였다. 온도 변화는 온도제어가 가능한 열판 (hot plate)을 사용하였고 정확한 온도를 확인하기 위하여 온도계를 사용하여 소자에 가해지는 실제 온도를 측정하였다.

그림 3은 제작된 기본소자에 대하여 상부 클래딩이 공기층인 조건에서 측정된 TE와 TM 편광에 대한 투과 스펙트럼을 보여준다. 평면 도파로의 하부 클래딩은  $1.5\ \mu\text{m}$  파장 대역에서 광 결합하는 평면 도파로의 모드차수는 80차 이상의 모드들이고 평면 도파로의 두께가  $170\ \mu\text{m}$ 이므로 결합 파장간의 간격은  $19\ \text{nm}$  정도로 나타나며, 이는 식 (1)에 의한 계산치와 거의 일치함을 알 수 있다. 광 결합 깊이는  $7\ \text{dB}$ 정도를 보이

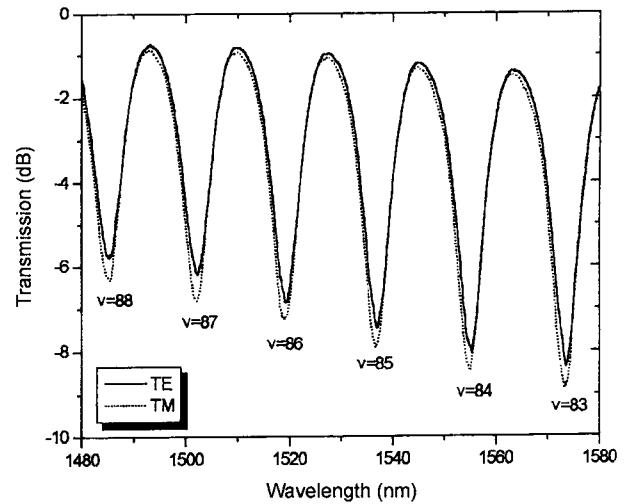


그림 3. 제작된 측면 연마 광섬유 결합기의 TE와 TM 편광에 대한 투과 스펙트럼 (상부 클래딩: 공기층).

고 있으며 삽입 손실은  $1.5\ \text{dB}$  이하이다. 상부 클래딩이 공기층일 때인 가장 비대칭적인 평면 도파로 구조를 가지게 되는데, 이때 두 직교 편광에 대한 결합 파장의 차이는  $0.5\ \text{dB}$  이하, 이로 인한 편광 의존 손실은  $0.3\ \text{dB}$  이하로 측정되었다. 이 결과로부터 평면 도파로의 비대칭적 구조에 의한 구조적 복굴절성은 평면 도파로의 두께를 입력 광원의 파장에 비해 매우 크게 한다면 무시되어질 수 있음을 알 수 있다.

온도 센서로의 응답은 평면 도파로의 하부 클래딩을 최초 제작된 상태 (NOA61)로 두고 상부 클래딩의 물질만 바꾸어 온도 변화에 따른 민감도를 측정하였다. 먼저, 상부 클래딩이 공기층일 때의 온도 변화에 따른 투과 스펙트럼은 그림 4(a)에 나타났다. 실온상태에서 시작하여 열판의 온도를 증가시키면서 측정된 결합 파장의 이동정도를 보여주었고,  $24^\circ\text{C}$ 에서  $130^\circ\text{C}$ 까지 온도가 변하는 동안 평면 도파로의 84차 모드에 대한 결합 파장은  $24\ \text{nm}$  정도 단파장으로 이동하였다. 온도의 변화에 민감하게 반응하는 부분은 큰 열광학 계수를 가지는 하부 클래딩이며 결합파장의 이동 정도는 선형 영역 (약  $100^\circ\text{C}$ 까지)에서  $-0.18\ \text{nm}/^\circ\text{C}$ 이다. 상부 클래딩을 공기층 대신 폴리머 계열의 물질을 사용한다면 온도 변화에 대한 위상 천이량인  $\phi_{c1}$ 과  $\phi_{c2}$ 가 동시에 변하므로 결합파장의 온도 변화에 대한 민감도를 더 높일 수 있을 것이다. 본 연구에서는 오일과 폴리머를 상부 클래딩으로 이용하였다. 그림 4(b)는 상부 클래딩을 광 접착제의 일종인 폴리머 물질을 사용하였을 때 투과 스펙트럼을 보여준다. 상부 클래딩이 공기층일 때에 비하여 결합파장의 이동정도가 많음을 알 수 있다.  $27^\circ\text{C}$ 에서  $130^\circ\text{C}$  온도가 변하는 동안 평면 도파로의 84차 모드에 대한 결합 파장은  $29\ \text{nm}$  정도 단파장으로 이동하였다. 결합 파장의 이동 정도는 선형 영역 (약  $100^\circ\text{C}$ 까지)에 대하여  $-0.23\ \text{nm}/^\circ\text{C}$ 로 측정되었다. 그러나, 측정 온도가  $100^\circ\text{C}$ 를 초과할 경우 결합 파장이 바로 앞 모드의 결합 파장과 중복되어지므로 결합 파장의 이동만으로 피측정체의 온도를 판별하기는 어렵다. 이때에는 투과 스펙트럼상의 광결합 깊이로 중복되는 파장의 모

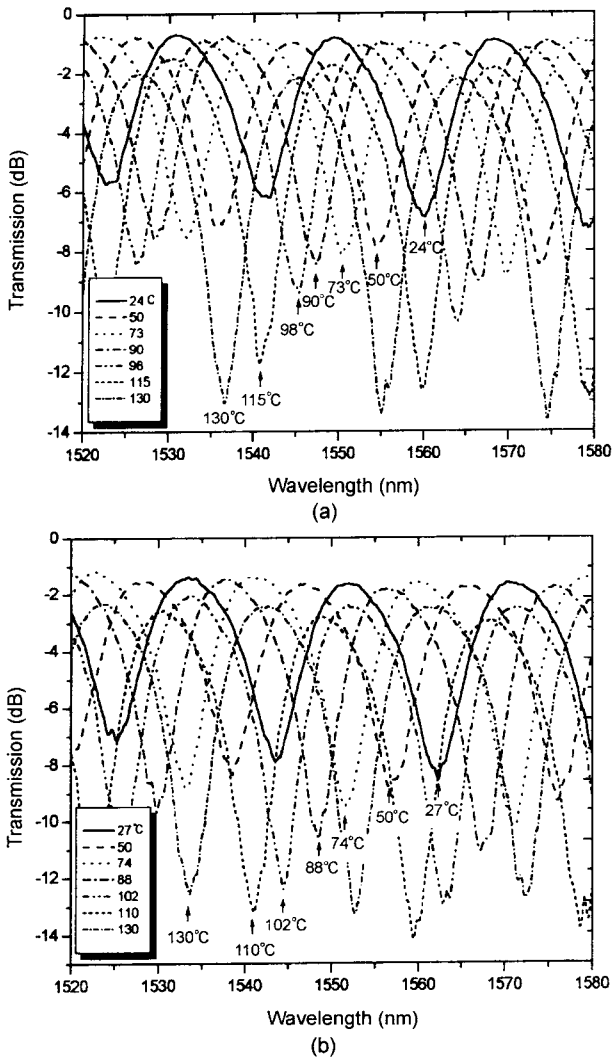


그림 4. 온도의 변화에 대한 투과 스펙트럼 (a) 상부 클래딩이 공기층인 경우 (b) 상부 클래딩이 폴리머( $\Delta n_2/\Delta T = -1.3 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ )인 경우.

드를 구별한다. 투과 스펙트럼이 단파장쪽으로 이동할수록 결합깊이는 커진다. 즉, 그림 4(a)에서 1560 nm에서는 24°C와 115°C의 결합파장이 중복되어지지만 투과 스펙트럼의 광결합 깊이가 다른 것으로 부터 각각의 모드에 대한 응답 특성은 구별되어진다.

열광학 계수가 더 큰 오일류의 물질을 상·하부 클래딩으로 사용하였을 때의 온도변화에 대한 결합 파장의 이동정도는 그림 5에서 비교 그래프로 나타내었다. 상부 클래딩만 열광학 계수가 더 큰 오일( $n_2=1.448, \Delta n_2/\Delta T = -3.9 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ )을 형성하게 되면  $-0.25 \text{ nm}/^\circ\text{C}$  정도의 온도 민감도를 얻을 수 있지만, 하부 클래딩으로 열광학 계수가  $-3.5 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ 인 물질을 사용하면  $-0.3 \text{ nm}/^\circ\text{C}$  정도의 온도 민감도를 얻을 수 있음을 보여준다. 즉, 상·하부 클래딩의 열 광학계수가 동일한 부호를 가지면서 열 광학계수가 클수록 온도 변화에 대한 민감도가 높은 센서를 제작할 수 있다. 또한, 상부 클래딩의 열광학 계수를 달리하면 온도 민감도가 다른 온도 센서를 쉽게 구현할 수

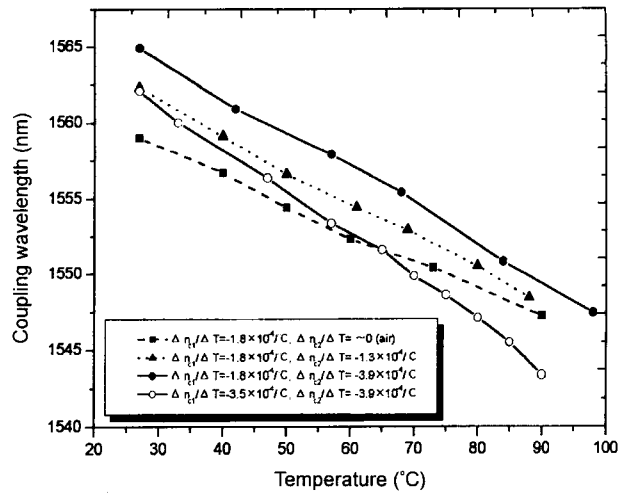


그림 5. 상부 클래딩과 하부 클래딩의 열광학 계수 변화에 따른 온도 민감도 비교.

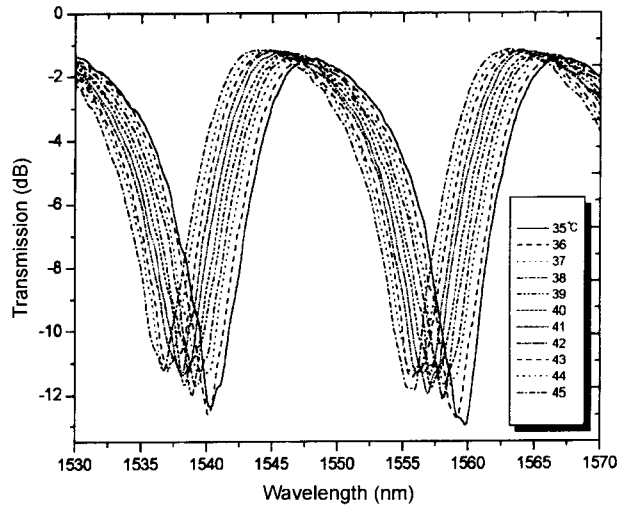


그림 6. 상부와 하부 클래딩이 모두 큰 열광학 계수를 가지는 경우의 미세 온도 변화에 대한 투과 스펙트럼( $\Delta n_1/\Delta T = -3.5 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ ;  $\Delta n_2/\Delta T = -3.9 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ ).

있음을 보여준다.

그림 6은 제작된 센서의 상부 클래딩의 열광학 계수가  $-3.5 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ 이고 하부 클래딩의 굴절률이  $-3.9 \times 10^{-4}/^\circ\text{C}$ 일 때 1°C 단위로 변화하는 온도에 대해 측정된 투과 스펙트럼이다. 열광학 계수가 큰 물질을 상부와 하부 클래딩으로 사용하게 되면 미세한 온도 변화량도 측정해 낼 수 있음을 알 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 측면 연마 광섬유와 결합된 평면 도파로의 클래딩을 이용하여 편광 의존성이 없는 온도센서를 구현하였다. 평면 도파로의 비대칭적 구조로 인한 복굴절 효과는 평면 도파로의 두께를 170  $\mu\text{m}$ 로 두껍게 하여 0.3 dB 이하의 편광 의존 손실이 나타나게 하였다. 평면 도파로의 상부와 하부 클래딩을 열광학 효과가 큰 폴리머 계열의 물질을 이용함으로써

온도 변화에 따른 클래딩의 굴절률 변화가 위상 천이량의 변화로 나타나서 결합 파장이 이동되게 하는 원리가 적용되었다. 상부 클래딩을 공기층으로 두고 하부 클래딩만 열광학 계수가  $-1.8 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 인 폴리머 층을 형성하였을 때 보다는 상부 클래딩층도 동일하게 폴리머층을 형성하게 되면 온도 민감도가 향상되어짐을 보였는데, 상부 클래딩의 열광학 계수가  $-3.9 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 일때 공기층일 때에 비하여 27% 정도 온도 민감도를 향상시킬 수 있었다. 또한 하부 클래딩의 열광학 계수를 높인다면 더 큰 효과를 기대할 수 있다. 하부 클래딩으로 열광학 계수가  $-3.5 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ 인 폴리머를 사용하여 최대 67% 정도 온도 민감도가 향상되어짐을 보였다. 따라서 평면 도파로의 클래딩의 열광학 계수를 조절함으로써 임의의 온도 민감도를 가지는 온도센서를 쉽게 제작할 수 있다.

이 소자는 상부 도파로가 외부의 섭동에 영향을 받지 않고 클래딩의 변화만으로 물리적 또는 화학적 변화를 감지할 수 있는 센서를 구현하는데 매우 유용할 것이다.

### 참고문헌

- [1] I. S. Mauchline, W. I. Madden, and W. Johnstone, "Low voltage tunable in-line channel dropping filter using liquid crystal waveguide overlay," *Electron. Lett.*, vol. 33, no. 11, pp. 985-986, 1997.
- [2] 김광택, 이소영, 손경락, 이종훈, 송재원, 이상재, 김시홍, 강신원, "광섬유 평면도 파로 광 결합기를 이용한 광필터 제작과 특성 측정," *한국광학회지*, 10권, 5호, pp. 419-423, 1999.
- [3] K. R. Sohn and J. W. Song, "Tunable fiber optic comb filter using a side-polished single mode fiber coupler with  $\text{LiNbO}_3$  overlay and intermediate coupling layer," *Opt. Comm.*, vol. 203, pp. 271-276, 2002.
- [4] S. M. Tseng and C. L. Chen, "Low-voltage optical fiber switch," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 37, pp. L42-L45, 1998.
- [5] S. A. Hamilton, D. R. Yankelevich, A. Knoesen, R. T. Weverka, R. A. Hill, and G. C. Bjorklund, "Polymer in-line fiber modulators, for broadband radio-frequency optical links," *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 15, no. 2, pp. 740-750, 1998.
- [6] K. T. Kim, H. W. Kwon, J. W. Song, S. Lee, W.G. Jung, and S.W. Kang, "Polarizing properties of optical coupler composed of single mode side-polished fiber and multimode metal-clad planar waveguide," *Opt. Commun.*, vol. 180, pp. 37-42, 2000.
- [7] A. Alvarez-Herrero, H. Guerrero, T. Belenguer, and D. Levy, "High-sensitivity temperature sensor based on overlay on side-polished fiber," *IEEE Photonic Technol. Lett.*, vol. 12 no. 8, pp. 1043-1045, 2000.
- [8] F. P. Corera, A. Gaston, and J. Sevilla, "Relative humidity sensor based on side-polished fiber optic," *Proc. of 17th IEEE IMTC*, Baltimore, USA, 2000, pp. 17-22.
- [9] S. Lee, S. Kim, H. Rue, J. Lee, and J. Song, "Fiber optic pressure sensor for fine pressure detection," *OSA annual meeting/ILS-XVI*, Rhode Island, USA, 2000, paper TuG5.
- [10] 황중호, 이준옥, 김철호, 황보승, 김광택, 마재평, 손경락, 송재원, "금속 클래드 평면 도파로와 결합된 측면 연마 광섬유의 파장 및 편광 선택성," *한국광학회지*, 13권, 2호, pp. 134-139, 2002.
- [11] W. Johnstone, G. Fawcett, and L. W. K. Yim, "Inline fiber-optic refractometry using index-sensitive resonance positions in single-mode fiber-to-planar-polymer-waveguide couplers," *IEE Proc.-Optoelectron.*, vol. 141, 299-302, 1994.
- [12] W. G. Jung, S. W. Kim, K. T. Kim, E. S. Kim, and S. W. Kang, "High-sensitivity temperature sensor using a side-polished single-mode fiber covered with the polymer planar waveguide," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 13, pp. 1209-1211, 2001.
- [13] C. A. Millar, M. C. Brierley, and S. R. Mallinson, "Exposed-core single-mode-fiber channel-dropping filter using a high-index overlay waveguide," *Opt. Lett.*, vol. 12, pp. 284-286, 1987.
- [14] K. R. Sohn, K. T. Kim, and J. W. Song, "Optical fiber sensor for water detection using a side-polished fiber coupler with a planar glass-overlay-waveguide," *Sensors and Actuators A*, vol. 101, pp. 137-142, 2002.

**Polarization-independent temperature sensor using cladding layers  
of the overlay waveguide coupled with a side-polished fiber**

Kyung-Rak Sohn<sup>†</sup>

*School of Information and Communication System, Gumi Polytechnic College,  
Kyungpook 730-303, KOREA*

<sup>†</sup>*E-mail: krsohn99@hanmail.net*

Kwang-Taek Kim

*Division of Optoelectronics, Honam University, Gwangju 506-714, KOREA*

Jae-Won Song

*School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University,  
Daegu 702-701, KOREA*

(Received August 1, 2002, Revised manuscript November 8, 2002)

In this paper, we propose a polarization-insensitive temperature sensor using a thermo-optic effect of the upper and (or) lower cladding of a planar waveguide in contact with a side-polished fiber. A microscope cover glass with thickness of a 170  $\mu\text{m}$  is adopted as an overlay waveguide because this waveguide opposes sudden temperature change and ensures polarization-insensitive responses. The measured polarization-dependence loss is less than 0.3 dB. The temperature can be detected as a result of the shift in coupling wavelength of the sensor. We investigate the shift in coupling wavelength as a function of the temperature variation with respect to the different thermo-optic coefficients of lower and upper claddings. We also show that the temperature sensitivity of the device can be easily controlled by the thermo-optic coefficients of lower and upper claddings of the overlay waveguide.

*Classification codes* : FO.030, OE.010, SM.020.