

측면 연마된 광섬유와 금속 클래드 평면도파로사이의 광결합특성

허상휴, 김광택, 이점식, 마재평, *정용규, *강신원 **손경락 **송제원

호남대학교 전자공학과, *경북대학교 센서공학과, **경북대학교 전자전기공학부
전화 : 062-262-1197 / 핸드폰 : 011-640-2934

Optical coupling propertis between side-polished fiber and metal-clad planar waveguide

Sang Hu Heo, Kwang Taek Kim, Chom Sik Lee, Jae Pyung Mah, *Woong Gyn Jung,*Shin
Won Kang, **Kyung Lak Son, **Jae Won Song,
Department of Electronic Engineering, Honam National University *Department of Sensor
Engineering, Kyungpook National University, **School of Electronic and Electrical
Engineering, Kyungpook National University
E-mail : sanghu@hanmail.net

Abstract

We report the experimental results for the coupling properties of the an side-polished single-mode fiber covered with metal-clad planar waveguide. The experimental results show that the large birefringence of a metal-clad planar waveguide facilitates the effective separation of TE and TM polarization in the spectral domain. Additionally the resonant wavelengths of the device are tuned based in the thermo-optic effect of polymer planar waveguide.

I. 서론

측면 연마된 광섬유와 그 위층에 올려진 물질사이에 광결합을 이용하여 다양한 광학소자들이 개발되어 왔다. 특히 광섬유의 클래드를 코어 가까이 연마하고 그 위에 평면도파로층을 결합시켜 광변조기[1], 광필터[2], 광센서[3], 편광기[4]등으로 이용하기 위한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다. 이러한 소자들은 기본적으로 광섬유의 코어층이 계속 연속되기 때문에 삽입손실이 매우 작고 기계적 신뢰성도 매우 높은 편이다.

본 논문에서는 측면 연마된 광섬유 위에 금속 클래드를 가지는 평면도파로를 결합시킨 소자의 결합특성을 연구 하였다. 광섬유-평면도파로 결합기는 기본적으로 파장선택성을 가진다. 즉, 광섬유와 평면도파로 사이에 위상정합을 만

족할 때 가장 효과적인 광결합이 발생하기 때문이다. 광섬유는 코어와 클래드의 굴절률 차이가 작아서 파장에 따른 유효굴절률의 변화가 매우 작지만 평면도파로는 코어와 클래드의 굴절률 차이를 크게 조절할 수 있어 매우 큰 분산을 가질 수 있다. 따라서 특정한 파장에서 광전력이 광섬유에서 평면도파로로 전달된다. 결과적으로 광섬유-평면도파로는 대역제거 필터로 동작한다.

만일 평면도파로가 복굴절을 가지면 광결합이 발생하는 파장(공진파장)이 입력광의 편광상태에 따라서 달라지게 된다. 평면도파로의 복굴절은 물질에 의한 복굴절과 도파로 구조에 의한 복굴절로 구분된다. 즉, 평면도파로가 충분히 큰 복굴절을 가지면 TE편광과 TM 편광의 공진파장을 완전히 분리하여 동작파장에서 원하지 않는 편광성분을 제거할 수 있기 때문에 편광기로 이용가능하다.

본 논문에서는 평면도파로에 복굴절을 야기시키는 방법으로 평면도파로의 상부클래드 층으로 금속을 이용하는 방법을 도입하였다. 금속과 유전체 사이에서 TE 편광과 TM 편광의 경계조건이 다르기 때문에 편광에 따라서 유효굴절률의 차이가 발생하게 되어 두 개의 직교하는 편광의 공진파장이 효과적으로 분리된다.

그리고 공진파장을 가변 시키는 방법으로 평면도파로의 코어층으로 이용된 폴리머의 열광학 효과를 이용하였다. 폴리머는 일반적으로 무기물보다 한차수 높은 열광학 계수를 가지기 때문에 효과적으로 공진파장을 가변시킬 수 있다. 따라서 제안된 소자는 원하는 동작파장에서 TE혹은 TM 편광을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다.

II. 동작원리

그림 1.과 같이 측면이 코어 가까이 연마된 광섬유 위에 평면도파로 층이 형성되면 두 광경로 사이에 소산장 결합이 발생하게 된다

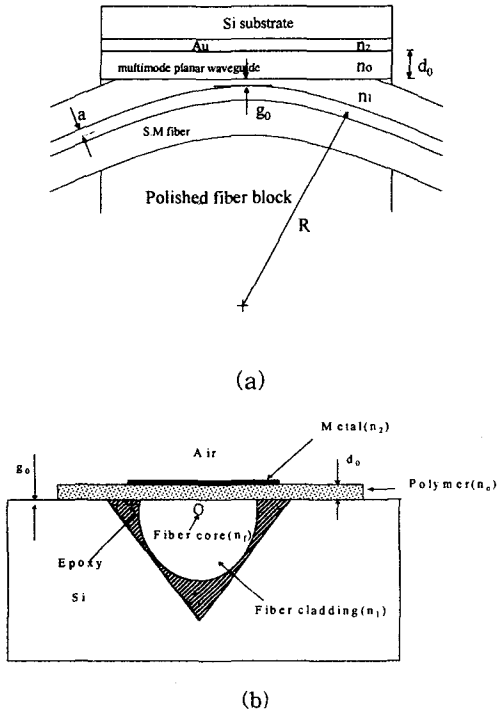


그림 1. 제안된 광섬유-평면도파로 구조 (a) 횡방향 단면구조, (b) 종방향 단면구조.

광섬유모드와 평면도파로 모드사이에서 위상정합 조건이 만족될 때 가장 큰 광결합이 발생하며 따라서 공진파장에서 가장 깊은 여파 특성을 가진다. 만일 평면도파로가 복굴절을 가지면 TE 편광과 TM 편광의 여파위치가 서로 다르게 된다. 이를 이용하여 원하는 파장영역에서 특정한 편광성분을 여파로서 제거할 수 있기 때문에 광섬유-평면도파로 결합기를 편광기로 이용할 수 있는 것이다. 광섬유와 평면도파로 결합기의 동작특성, 공진파장의 위치, 두 직교하는 편광사이의 공진파장 간격 등을 평면도파로의 고유치 방정식을 도입하여 구할 수 있다[4]. 여기서 물질의 색분산과 복굴절은 고려하지 않았다.

$$\frac{2\pi d_0}{\lambda} (n_o^2 - n_{eo}^2)^{1/2} = m\pi + \phi_1 + \phi_2 \quad (1)$$

여기서 \$m\$은 모드의 차수를 나타내는 정수, \$\lambda\$는 광의 파

장, \$d_0\$는 평면도파로의 코어층 두께, \$n_o\$는 평면도파로의 코어 굴절률 그리고 \$n_{eo}\$는 \$m\$번째 고차모드의 유효 굴절률이다. \$\phi_1\$과 \$\phi_2\$는 평면도파로의 코어층과 클래드층의 경계에서 발생하는 모드의 위상차이로서 다음과 같이 주어진다.

$$\phi_i (i=1 \text{ or } 2) = \tan^{-1} \zeta \frac{(n_{eo}^2 - n_i^2)^{1/2}}{(n_o^2 - n_{eo}^2)^{1/2}} \quad (2)$$

여기서 \$\zeta\$는 편광상태에 의존하는 상수로서 TE편광에 대해서는 \$\zeta=1\$, TM편광에 대해서는 \$\zeta=n_o^2/n_i^2\$을 대입하면 된다. \$n_i\$는 각 층의 굴절률을 의미한다. 금속의 굴절률은 복소수로 주어지며 금속 클래드 층으로 구성된 평면도파로의 유효굴절률도 \$n_{eo} = n_{reo} + in_{ieo}\$와 같이 복소수로 주어진다. 여기서는 평면도파로의 유효굴절률의 실수부가 광섬유의 유효굴절률과 일치할 때 두 도파로 사이에 공진 결합이 일어나기 위한 위상정합조건이 만족한다. 금속의 굴절률은 \$n = n_r + jn_i\$와 같이 표현 할 수 있고 대부분의 금속에서 \$|n_r| \ll |n_i|\$ 이면 \$n^2 \approx n_r^2 - n_i^2\$로 가정하고 \$n^2\$의 허수항을 무시하면 식(1)과(2)를 이용하여 쉽게 유효굴절률의 실수부 (\$n_{reo}\$)를 구할 수 있다[5]. 금속의 \$n^2\$값이 음수이기 때문에 식(2)에서 금속 경계면에서 결합하는 모드의 위상차가 편광에 따라서 크게 다르다. 이러한 효과 때문에 높은 구조적 복굴절을 가지는 것이다.

광섬유의 분산의 매우 작으며 파장 \$1.2 \sim 1.6 \mu\text{m}\$사이에서 광섬유의 고유치 방정식을 이용하여 계산한 결과 유효굴절률은 \$1.4459 \sim 1.4460\$ 범위 내에 있는 것으로 나타났다. 공진 조건(\$n_{eo} = n_{ef}\$)을 식(1)에 대입하면 평면도파로의 \$m\$차 모드에 공진하는 파장(\$\lambda_m\$)과 편광 상태에 따른 공진파장의 차이를 구할 수 있다. \$n_{ef}\$는 광섬유의 유효굴절률을 나타낸다.

$$\lambda_m = \frac{2d_0 \pi (n_o^2 - n_{ef}^2)^{1/2}}{m\pi + \phi_1 + \phi_2} \quad (3)$$

식(3)에 의하면 금속클래드를 이용하는 경우는 유전체 구조에서 가장 큰 복굴절을 가지는 공기층을 클래드 층으로 사용한 경우보다 같은 모드차수에서 두 편광사이의 공진파장 간격이 \$5 \sim 7\$배 정도 더 크게 나타난다. 그리고 평면도파로의 모드차수(\$m\$)가 낮을수록 복굴절이 더 커지며 분산이 작아지는 특성을 가지는 것으로 분석되었다. 따라서 평면도파로의 저차 모드와 광섬유 모드를 공진시키면 TE와 TM 편광의 공진파장간의 간격이 커질 뿐 만 아니라 낮은 분산 때문에 여파폭도 넓어지는 특성을 얻을 수 있다. 광섬유 모드와 공진 결합을 발생시키는 평면도파로의 최고

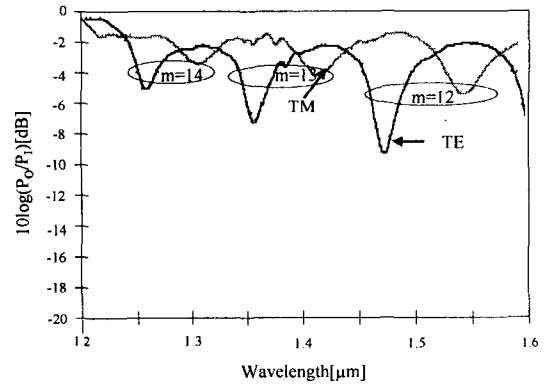
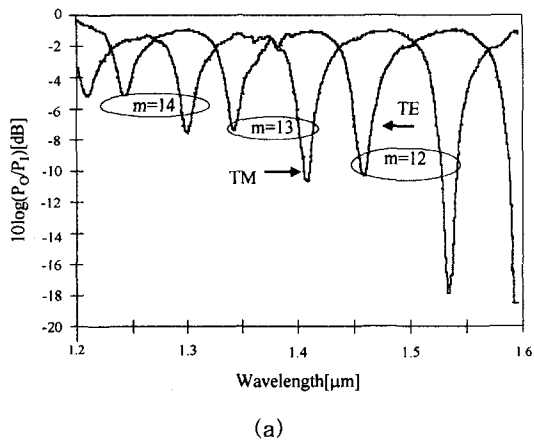
차 모드의 차수를 낮추는 방법은 평면도파로의 두께를 얇게 하는 것이다.

소자의 공진파장은 평면도파로의 굴절률에 민감하게 변하게 된다. TE와 TM 편광의 공진파장을 가변 시키는 방법으로 평면도파로의 열광학 효과를 이용하는 방법을 도입하였다. 공진 파장을 가변 시켜 소자의 출력단에서 원하는 동작파장인 TE 편광 혹은 TM 편광성분을 선택적으로 얻을 수 있다.

III. 실험 결과 및 분석

측면이 코어가까이 연마된 광섬유 위에 폴리머(AZ4562)를 스펀코팅하였다. 폴리머의 굴절률은 파장 1.55 μm 에서 1.6이고, 두께(d)는 13 ~ 14 μm , 남은 광섬유 클래더의 두께(g)는 3~4 μm 이다. 광섬유의 코어 및 클래더의 굴절률은 1.4485와 1.4440 이며 반경은 4.1 μm 이다.

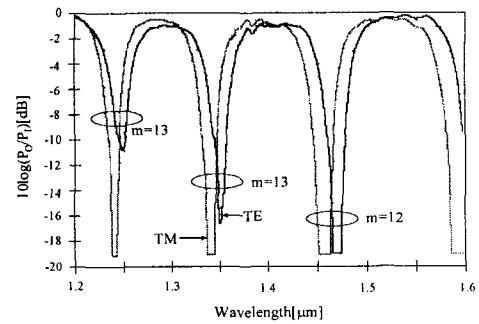
그림2에서 평면도파로의 상부클래더층으로 금(Au)과 NiCr을 각각 사용하여 결합기의 파장응답을 비교하였다. NiCr을 평면도파로의 상부클래더 층으로 선택되었을 때 상대적으로 3dB 대역폭은 넓어지고 삽입손실이 커지며 편광 소멸비는 감소하는 것으로 나타났다. 특히 TM 편광이 상대적으로 더 큰 대역폭을 가짐을 알 수 있다. 이러한 현상은 NiCr을 도입했을 때 평면도파로에서 광학적 손실이 금을 이용했을 때 보다 더 크며, 또한 TM 편광일 때 더욱더 크기 때문으로 분석된다. 따라서 본 논문에서는 금을 평면도파로의 상부클래더 층으로 이용하는 것이 광섬유-평면도파로 결합기의 특성에 더 유리한 물질임을 알 수 있었다.



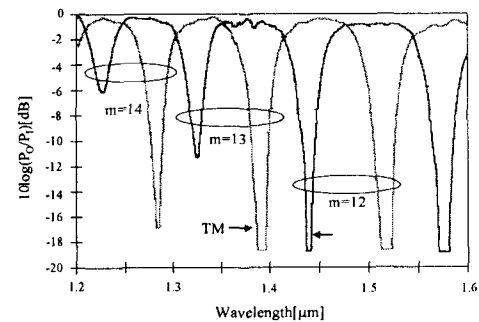
(b)

그림 2. 상부클래더층으로 이용되는 금속의 재질에 따른 결합기의 파장응답, (a) Au, (b) NiCr

그림 3에서 폴리머의 상부클래더 층으로 공기와 금을 각각 사용하여 결합기의 파장응답을 측정된 결과가 제시되어 있다.



(a)



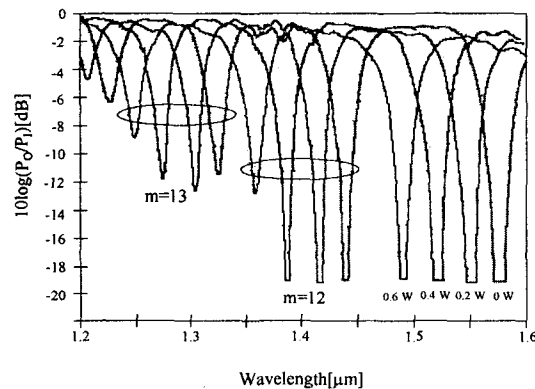
(b)

그림3 상부클래더 층의 물질에 따른 결합기의 파장응답(a) 공기($n_2=1.0$), (b) 금($n_2=0.18-j10.2$)

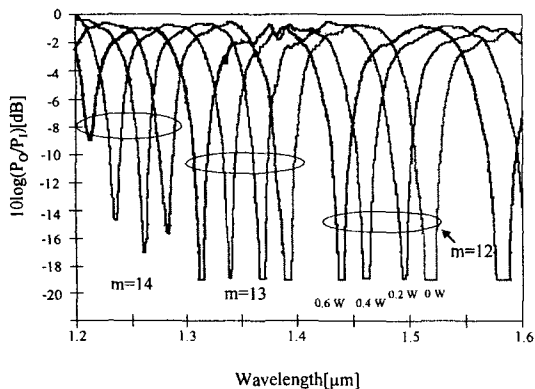
이론적 예측과 마찬가지로 금속을 평면도파로의 상부클래

드 층으로 이용했을 때 유전체를 이용하는 것보다 효과적으로 TE와 TM 편광의 공진 영역을 분리할 수 있음을 알 수 있다. 이소자의 공진 파장영역에서 삽입손실은 1dB 이하이고, 편광 소멸비는 18dB 이상 됨을 알 수 있다.

평면도파로의 상부클래드 층으로 사용되는 금속을 폴리머 평면도파로에 열을 인가하는 전극으로 사용하여 공진 파장가변 특성을 측정하였다. 이 때 금속전극의 길이, 폭, 두께는 5mm, 150 μ m, 40nm이었다. 전극의 dc 저항은 31ohm이었다. 아래 그림은 전극에 인가된 전력에 따른 공진파장의 가변 특성을 보여주고 있다. 0.6 W의 전력으로 공진 파장을 약 80nm를 가변 할 수 있었다. 즉, 130nm/W의 파장가변 특성을 보였다. 0.6W 전력에 의해 폴리머 필름의 굴절률 변화는 0.015로 추정되었다. 이러한 제안된 결합기의 편광분리 특성과 넓은 파장가변 특성은 파장가변 필터나 편광기로 충분히 이용될 수 있다.



(a)



(b)

그림 4. 전극에 인가된 전력에 따른 공진파장의 변화 (a) TE 편광, (b) TM 편광

IV 결론

본 논문에서는 측면 연마된 단일모드 광섬유와 금속클래드를 가지는 다중모드 평면도파로 사이의 광결합 특성을 실험으로 분석하였다. 금속을 평면도파로의 상부클래드 층으로 이용하면 TE편광과 TM 편광의 공진파장을 효과적으로 분리할 수 있어 편광기로 이용될 수 있음을 보였다. 또한 상부클래드 층으로 이용된 금속을 전극으로 이용하여 열광학 효과가 우수한 폴리머에 열을 인가하여 TE 편광과 TM 편광의 공진파장을 가변시킬 수 있음을 보였다. 이 소자는 삽입손실이 1dB 이하, 편광소멸비가 18dB 이상을 보였다. 공진파장을 열광학 효과로 가변 시켜 원하는 파장에서 TE 혹은 TM 편광을 얻을 수 있다.

참고문헌(또는 Reference)

- [1] S. A. Hamilton, D. R. Yankelevich, A. Knoesen, R. T. Weverka, R. A. Hill, and G. C. Bjorkund, " Polymer in-line fiber modulators for broadband radio-frequency optical links," J. Opt. Soc. Am. B. Vol. 15, No. 2, February, 1998.
- [2] C. Millar, M. Brierey, and S. Mallinsion, " Exposed-core single-mode fiber channel-dropping filter using a high-index overlay waveguide ," Opt. Lett., Vol. 12, No. 4, pp. 284-286, Vol. 12, pp. 740-750, 1987.
- [3] W. Johnstone, G. Fawcett, 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, No. 5, pp. 229-302, October, 1994.
- [4] S. G. Lee, J. P. Sokoloff, B. P. McGinnis, and H. Sasabe, " Fabrication of a side-polished fiber polarizer with a birefringent polymer overlay," Optics Lett. Vol. 22, No. 9, pp. 606-608, May,
- [5] Shou Xian She, "propagation loss in metal-clad waveguides and weakly absorptive waveguide by a perturbation method," Optics Lett., Vol. 15, No. 16, pp. 900-902, Aug. 1990.