

論文2000-37SD-4-8

단일모드 광섬유와 금속클래드 평면도파로 사이의 광 결합을 이용한 편광기 제작

(Fabrication of an Optical Polarizer Using Optical Coupling Between Single Mode Fiber and Metal-Clad Planar Waveguide)

金光鐸*, 宋在元**, 鄭雄圭***, 姜信元***

(Kwang Taek Kim, Jae Won Song, Woong Gyu Jung,
and Shin Won Kwang)

요 약

광섬유-평면도파로 결합기의 편광선택성을 이용한 새로운 구조의 광섬유형 편광기를 설계 및 제작하였다. 금속클래드-평면도파로의 높은 복굴절을 이용함으로써 동작 파장범위를 증가시킬 수 있었다. 평면도파로의 코어층으로 폴리머를, 클래딩으로 금(Au)을 각각 사용하였다. 실험결과는 평면도파로의 두께를 조절하여 TE 편광 혹은 TM 편광이 만들어 질 수 있음을 보인다. 16dB 이상의 편광소멸비를 만족하는 파장범위는 130nm 이상으로 나타났고 삽입손실은 0.5dB 정도였다.

Abstract

Based on the polarization selectivity of fiber-to-planar waveguide coupler, a novel fiber optic polarizer has been designed and fabricated. The large structural birefringence of a metal-clad planar waveguide enables the polarizer to have wide operating wavelength range. The polymer and gold were used for the guiding layer and cladding layer of the planar waveguide, respectively. The experimental results showed that either TE or TM polarized lightwave could be created by adjusting the thickness of planar waveguide. Operating wavelength range satisfying more than 16dB polarization extinction ratio was 130nm. The average insertion loss of fabricated devices was order of 0.5dB.

* 正會員, 湖南大學校 電氣電子컴퓨터工學部
(Division of Electrical and Electronic and Computer
Ho Nam University)

** 正會員, 慶北大學校 電子電氣工學部
(School of Electronical and Electric Engineering
Kyungpook National University)

*** 正會員, 慶北大學校 센서工學科
(Dept. of Sensor Engineering, Kyungpook National
University)

接受日字:1999年10月7日, 수정완료일:2000年2月23日

I. 서 론

편광기는 하나의 편광성분만을 요구하는 집적광학형 광변조기나 간접계 구조의 광센서등을 구동시키기 위해 필수적인 소자이다. 또한 코히어런트 광통신 시스템에서 편광다이머시터를 위해서 이용될 수 있다. 편광기를 구현하는 방법으로 벌크형, 집적광학형, 광섬유형이 잘 알려져 있으며, 그 중 광섬유형은 다른 방법에 비해 기계적 신뢰성이 우수하고 삽입손실이 작기 때문에 많이 연구되어왔다. 지금까지 광섬유형 편광기로는 광섬

유의 클래딩을 연마하여 제거하고 그 위에 새로운 클래딩으로 복굴절물질^{[1][2]}이나 금속^{[3][4]}을 사용하는 기법이 잘 알려져 있다. 큰 복굴절 물질을 클래딩으로 사용한 편광기 구조에서는 클래딩의 굴절률을 코어보다 크게 느끼는 편광성분은 클래딩으로 누설되는 반면에 클래딩의 굴절률이 코어 보다 작게 느끼는 편광성분은 손실없이 광섬유에 잘 갇혀서 진행한다. 한편 금속이 측면 연마된 광섬유의 클래딩으로 작용하는 경우 TM 기본 모드는 표면플라스몬 효과에 의한 큰 손실을 가지며 결과적으로 TE편광만 광섬유를 통과한다. 여기서 TE와 TM 편광은 전기장의 방향이 측면 연마된 광섬유 표면과 수평과 수직인 광 성분을 각각 일컫는 말이다. 최근에는 측면 연마된 광섬유 위에 복굴절이 큰 평면도파로층이 덮혀진 구조를 지닌 광섬유-평면도파로 결합기의 편광선택성이 보고된 바 있다^{[5][6]}. 이 소자에서는 광섬유에 인가된 광의 편광상태에 따라서 여과되는 파장이 다르기 때문에 원하는 파장에서 TE나 TM 편광성분 중 한 편광성분을 여과시켜 제거할 수 있다. 이 소자를 편광기로 적용시 평면도파로에 사용되어지는 물질의 굴절률에 대한 제약이 없으며 소자구조를 조정하면 TE와 TM 편광성분중 어떤 성분도 제거할 수 있는 융통성이 큰 특징이 있다. 따라서 복굴절 폴리머^{[5][7]}, 액정크리스탈^[8], LiNbO₃^[9], 반도체^[6]등 다양한 물질이 평면도파로의 재료로 사용될 수 있다. 그러나 기존에 보고된 광섬유-평면도파로 결합기형 편광기는 동작할 수 있는 파장범위가 매우 좁아서 실제로 광의 스펙트럼이 넓어지면 편광기로 작용하기 어렵고 또한 소자 제작시 원하는 파장영역에 공진파장을 맞추기가 어렵다는 문제점을 가지고 있는 것으로 판단된다. 여기서 여과깊이가 가장 큰 파장을 공진파장으로 정의한다.

본 논문은 광섬유-평면도파로 결합기를 편광기로 적용시 동작파장 범위를 넓힐 수 있는 소자구조를 제안하고 실험으로 검증한다. 이 소자가 편광기로 동작하는 파장범위를 넓히기 위해서는 여과 대역폭과 두 직교하는 편광사이의 공진파장간 간격이 충분히 넓어야 한다. 이를 만족하기 위해서는 광섬유와 결합된 평면도파로가 큰 복굴절과 동시에 낮은 분산을 가져야 한다. 여기서 평면도파로의 복굴절은 두 직교하는 편광의 유효굴절률의 차이 그리고 분산은 파장에 따라서 유효굴절률이 변화하는 정도를 각각 의미한다. 이들은 평면도파로의 구조에 매우 민감하며 본 논문에서는 도파물질이 가지는 복굴절과 분산은 고려하지 않는다. 일반적으로 유전

체 평면도파로 구조에서는 모드의 특성상 낮은 분산과 큰 복굴절을 동시에 얻기가 힘들다. 본 논문은 금속 클래드를 가지는 평면도파로가 매우 큰 복굴절을 가진다는 사실^[10]을 광섬유와 평면도파로 결합기의 특성을 개선시키는데 적용하였다. 넓은 여과대역을 가지도록 낮은 분산을 가지는 평면도파로 구조(굴절률, 두께)를 얻는 방법을 모드해석을 통하여 구하였다. 제안된 소자구조는 큰 복굴절이 없는 일반적인 비정질 물질도 평면도파로 재료로 이용될 수 있기 때문에 물질선택이 자유롭고 전기광학 폴리머나 복굴절 크리스탈을 평면도파로의 재료로 이용시 요구되는 폴링이나 연마 등의 복잡한 공정이 요구되지 않는 장점이 있다.

II. 편광기의 동작원리

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

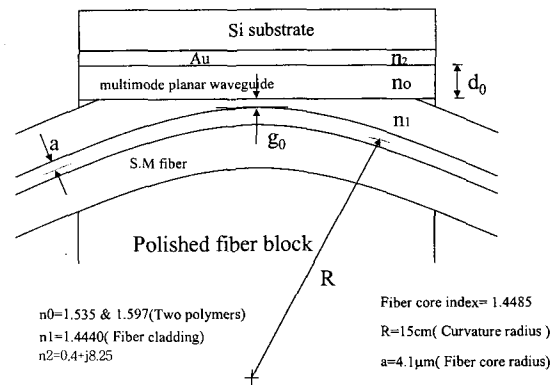


그림 1. 측면 연마된 광섬유와 평면도파로의 소산장 결합을 이용한 편광기 구조

Fig. 1. Structure of optical polarizer using evanescent filed coupling between side polished fiber and multimode planar waveguide.

광섬유모드와 평면도파로 모드사이에서 위상정합 조건이 만족될 때 가장 큰 광결합이 발생하며 따라서 공진 파장에서 가장 깊은 여과 특성을 가진다. 만일 평면도파로가 복굴절을 가지면 TE 편광과 TM 편광의 여과 위치가 서로 다르게 된다. 이를 이용하여 원하는 파장영역에서 특정한 편광성분을 여과시켜 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^[11]. 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 m은 모드의 차수를 나타내는 정수, λ는 광의 파장, d₀는 평면도파로의 코어층 두께, n_o는 평면도파로의 코어 굴절률 그리고 n_{eo}는 m번째 고차모드의 유효 굴절률이다. φ₁과 φ₂는 평면도파로의 코어층과 클래드층의 경계에서 발생하는 모드의 위상천이로서 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 ζ는 편광상태에 의존하는 상수로서 TE편광에 대해서는 ζ=1, TM편광에 대해서는 ζ=n_o²/n_i²을 대입하면 된다. 이 결과는 TE와 TM 모드가 서로 다른 경계조건을 가진데서 기인한 것으로 즉 TE 모드의 경우 도파로 경계면에서 전기장의 접선성분이 연속이지만 TM모드의 경우 불연속적이다. n₁은 광섬유의 클래드층의 굴절률인 동시에 평면도파로의 하부 클래드층의 굴절률이다. n₂는 평면도파로의 상부 클래드층의 굴절률이다. 평면도파로의 복굴절성은 TE와 TM 모드의 소산장이 도파로 경계에서 경험하는 위상천이가 서로 다르기 때문에 발생하며, 그 크기는 평면도파로의 코어와 클래드의 굴절률 차이에 비례한다. 유전체로 이루어진 평면도파로 구조에서는 낮은 분산을 위해 코어의 굴절률이 낮은 물질을 사용하면 높은 복굴절을 기대할 수 없다.

본 논문에서는 넓은 동작 파장 범위를 가지는 편광기를 구현하는 방법으로 평면도파로의 상부클래드로 금속을 사용하는 방법을 제안하고자 한다. 금속의 굴절률은 복소수로 주어지며 금속 클래드로 구성된 평면도파로의 유효굴절률도 $n_{eo} = n_{reo} + in_{ieo}$ 와 같이 복소수로 주어진다. 이때 유효굴절률의 실수부(n_{reo})는 도파모드의 위상속도, 허수부(n_{ieo})는 전파손실을 각각 의미한다. 평면도파로의 유효굴절률의 실수부와 허수부를 간단하게 구하는 방법이 알려져 있다^[10]. 여기서는 유효

굴절률의 실수부만으로 위상정합조건을 만족하는 파장(공진파장)을 찾을 수 있다. 금속의 굴절률은 $n = n_r + jn_i$ 와 같이 표현 할 수 있고 대부분의 금속에서 $|n_r| \ll |n_i|$ 이기 때문에 $n^2 \approx n_r^2 - n_i^2$ 로 표현된다. n²의 허수항을 무시하면 식(1)과(2)를 이용하여 쉽게 유효굴절률의 실수부(n_{reo})를 구할 수 있다. 이렇게 간단하게 구해도 실제 복소평면을 이용하여 정확하게 구한 값과 그 차이가 크지 않다^[9]. 금속의 n²값이 음수이기 때문에 식(2)에서 금속 경계면에서 경험하는 모드의 위상천이가 편광에 따라서 크게 다르다. 이러한 효과 때문에 높은 구조적 복굴절성을 가지는 것이다. 금속 클래드를 가지는 평면도파로에서 모드의 금속에 의한 흡수 손실과 축 방향으로의 광을 구속하지 않기 때문에 회절 손실이 발생한다. 광섬유와 결합된 평면도파로의 손실은 평면도파로에서 광섬유로 역결합을 방해하며 결과적으로 여과폭과 깊이가 커지는 효과로 작용한다^[7].

광섬유의 분산의 매우 작으며 파장 1.2~1.6μm사이에서 광섬유의 고유치 방정식^[5]을 이용하여 계산한 결과 유효굴절률은 1.4459~1.4460 범위 내에 있는 것으로 나타났다. 공진조건(n_{eo}=n_{ef})을 식(1)에 대입하면 평면도파로의 m차 모드에 공진하는 파장(λ_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(4)에 의하면 금속클래드를 이용하는 경우는 유전체 구조에서 가장 큰 복굴절을 가지는 공기층을 클래드로 사용한 경우보다 같은 모드차수에서 두 편광사이의 공진파장 간격이 5~7배 정도 더 크게 나타난다. 그리고 평면도파로의 모두차수(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 여과폭도 넓어지는 특성을 얻을 수 있다. 광섬유 모드와 공진 결합을 발생시키는 평면도파로의 최 고차모드의 차수를 낮추는 방법은 평면도파로의 두께를 얇게 하는 것이다.

III. 소자 제작

광섬유는 그 두께가 너무 작아서 광섬유만으로 연마가 쉽지 않기 때문에 광섬유를 지지하기 위한 블록(block)이 필요하다. 연마를 위한 광섬유 지지대로 실리콘 V홈^[12]을 이용하는 방법과 퀴츠(Quartz)를 이용하는 방법^[6]이 잘 알려져 있다. 본 논문에서는 전자의 방법을 이용하였다. 실리콘 기판상의 V홈의 형상을 예측하여 연마 후 남은 클래드의 두께(g)와 광섬유의 곡률반경(R)을 설계하였다. 실리콘 V홈의 설계 및 제작공정, 광섬유 연마과정 등을 상세히 보고된 바 있다^[13]. 그림 2(a)와 (b)는 제작된 실리콘 V홈과 이를 이용하여 제작한 측면 연마된 광섬유 블록의 단면 사진이다. 그림 2(a)는 광섬유가 V홈에 밀착될 때 적절한 곡률을 유지하도록 V홈의 폭이 단계적으로 중심으로부터 넓어진 형상을 보인다. 그리고 그림 2(b)는 광섬유를 V홈에 밀착시킨 후 에폭시로 고정시키고 최소 0.1 μ m의 거칠기를 가지는 연마필름으로 연마 후 광섬유 블록의 중심부위에서 절단한 단면 형상이다.

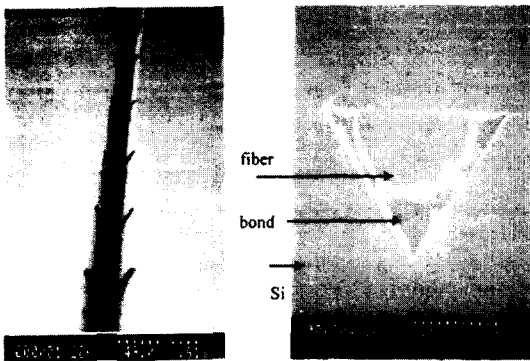


그림 2. (a) 실리콘 V 홈 형상, (b) 측면 연마된 광섬유 블록의 단면 모양

Fig. 2. (a) Silicon V groove pattern, (b) cross view of side polished fiber block.

한편 평면도파로는 또 다른 실리콘 위에 형성된다. 진공증착기로 NiCr과 Au를 동일한 진공 챔버 내에서 열 증착시킨다. NiCr은 금과 실리콘 사이에서 두 물질의 접착성을 높이기 위해서 사용된 것이다. 금의 두께가 통상적으로 1000Å 이상 되도록 진공 증착하였다. 평면도파로 물질로 폴리머의 일종인 굴절률이 1.597인 양성포토레지스터(AZ4562, Hoescht)와 굴절률이 1.533인

음성 포토레지스터(THB-30 6H15E1, Japan synthetic rubber)를 사용하였다. 실험에 사용된 양성포토레지스터는 점도가 높아 스핀코팅으로 수 μ m 이상의 비교적 두꺼운 평면도파로막의 제작이 용이한 반면 음성포토레지스터는 1 μ m내외의 얇은 평면도파로막을 제작하기에 용이한 물질이다. 평면도파로의 두께는 스핀코팅시 회전속도로서 조절이 가능하다. 폴리머를 스핀코팅 후 140°C에서 20분간 굽는다. 양성포토레지스터의 경우 온도를 가하기 전에 5분간 마스크 정렬기에서 발생하는 자외선에 노출시켜 경화과정을 밟는다. 연마된 광섬유와 평면도파로 사이에 굴절률 정합액 넣고 물리적 압력을 가한 상태에서 에폭시 접착제로 광섬유 블록과 평면도파로를 접합시키면 소자가 완성된다. 정합액은 평면도파로와 광섬유사이의 미세한 공기층이 발생하는 것을 방지하기 위해서 사용된 것이다. 정합액에 의한 평면도파로 막의 손상은 나타나지 않았다.

IV. 특성 측정 및 분석

제작된 소자의 특성을 측정하기 위한 장치도는 그림 3과 같다.

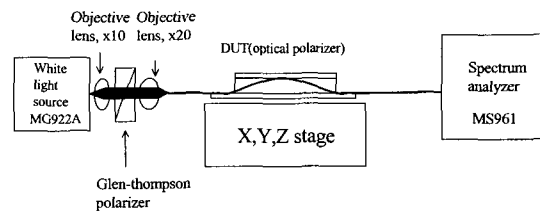
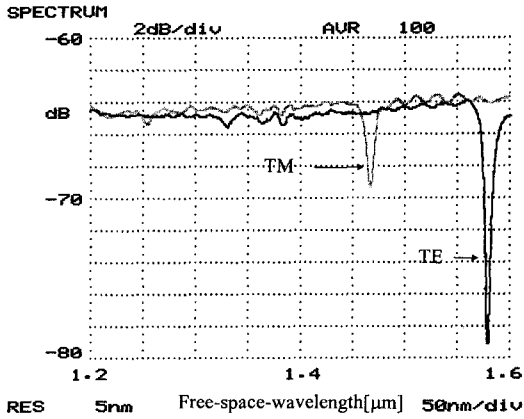


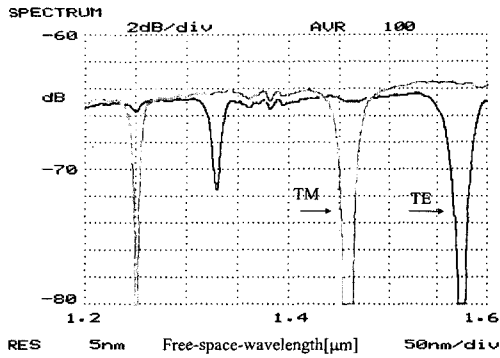
그림 3. 제작된 소자의 특성을 측정하기 위한 장치도
Fig. 3. Optical alignment for measuring the properties of fabricated devices.

백색광원의 출력이 배율10인 대물렌즈를 통하여 평형광이 되며, 클렌 톨슨 편광기에 의해서 TE혹은 TM으로 편광된다. 배율20인 대물렌즈를 통하여 광섬유의 한쪽 단면에 백색광이 결합된다. 그림 3의 광학장치로 1.2~1.6 μ m사이의 파장범위에서 5nm 해상도 가지고 16dB 이상의 광의 강도변화를 측정할 수 있다. 소자 측정시 광섬유의 길이를 최소화하고 끝께 펴야 백색광이 광섬유를 통과하면서 편광상태가 약간 바뀔 수 있는 현상 때문에 생기는 오차를 최소화 할 수 있다. 그림 4는 AZ4562를 사용하여 광섬유를 연마 후 남은 클래드의 두께를 변화시키면서 파장응답을 측정한 결과

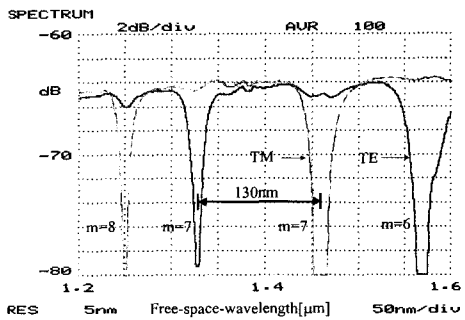
이다.



(a)



(b)



(c)

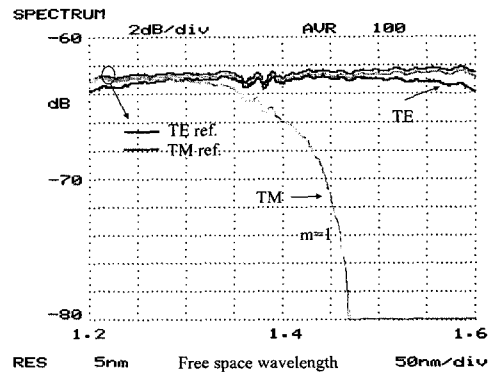
그림 4. 연마 후 남은 클래드의 두께(g_0)에 따른 파장 응답의 변화, $n_0=1.597$, (a) $g_0=3.9\mu\text{m}$ (b) $g_0=2.9\mu\text{m}$, (c) $g_0=2.4\mu\text{m}$.

Fig. 4. Wavelength responses for different remaining cladding thickness(g_0), $n_0=1.597$, (a) $g_0=3.9\mu\text{m}$ (b) $g_0=2.9\mu\text{m}$, (c) $g_0=2.4\mu\text{m}$.

각 연마 단계마다 남은 클래드의 두께를 측정하기 위하여 굴절률 정합액을 연마된 광섬유면에 떨어뜨리

고 $1.3\mu\text{m}$ LD 광원을 통과 시켜 광 손실을 측정하였다. 측정된 광 손실로부터 남은 클래드를 계산할 수 있다. 남은 클래드의 두께를 줄임에 따라서 공진파장의 변화 없이 여과깊이와 여과폭이 증가함을 알 수 있다. 금속 클래드를 가지는 평면도파로는 유전체 평면도파로와 달리 같은 모드차수에서 TE모드가 더 작은 유효굴절률을 가지므로 결과적으로 TE편광의 공진파장이 짧아지는 결과를 낳는다. 파장 $1.2\sim 1.6\mu\text{m}$ 범위에서 TE편광의 경우 평면도파로의 5차와 6차 모드가 광섬유 모드 공진결합이 발생하며 TM 편광의 경우 6차와 7차 모드에서 공진결합 발생한다. 측정된 평면도파로의 두께는 $6.34\mu\text{m}$ 로서 이로부터 계산된 각 모드의 공진파장은 TE 5차는 1.558 , TE6차는 1.319 , TM6차 1.448 , 그리고 TM7차는 $1.239\mu\text{m}$ 이다. 측정된 각 공진파장의 위치와 그 간격은 이론치와 5%내의 오차로서 잘 일치하였다. 예를 들어 평면도파로의 6차 모드에 공진하는 TE와 TM 편광의 측정된 공진파장 간격은 130nm 로서 식(3)을 이용하여 계산한 결과인 129nm 와 잘 일치함을 알 수 있다. 하나의 편광 성분이 공진을 일으키는 파장영역에서 다른 편광성분이 공진을 일으키는 파장영역에서 다른 편광성분이 $0.5\sim 1\text{dB}$ 정도의 추가 손실을 경험하는 것으로 나타났다. 이는 초기 글렌 톰슨 편광기에 의한 편광상태가 광섬유를 통과하면서 약간 비편 결과 때문으로 추측된다. 따라서 이러한 문제를 피하기 위해서는 측면 연마된 광섬유 블록을 제외한 부분은 편광유지 광섬유로 대체하면 될 것으로 보인다.

넓은 동작파장을 가지는 동작특성을 위하여 굴절률이 비교적 낮은 얇은 도파로 막을 제작하기 용이한 음성포토레지스터를 평면도파로의 재료로 이용하여 편광기의 특성을 측정하였다. 그림 5는 평면도파로의 두께만을 달리한 광섬유-평면도파로 결합기의 파장응답이다.



(a)

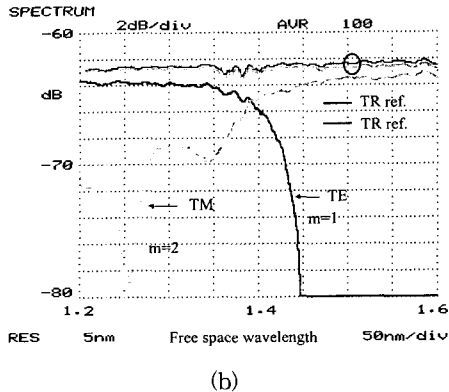


그림 5. (a) $1.55\mu\text{m}$ 파장영역에서 TE 통과 편광기, (b) TM 통과 편광기, $g_0=2.1\mu\text{m}$, $n_0=1.533$

Fig. 5. (a) TE pass polarizer at $1.55\mu\text{m}$ wavelength, (b) TM pass polarizer, $g_0=2.1\mu\text{m}$, $n_0=1.533$.

평면도파로로 사용된 음성포토투레지스터는 약간의 연성이 있어 정확하게 α -step profile meter로 도파로막의 두께를 측정하기 힘들었다. 통상적으로 2000~4000rpm으로 스피코팅하여 평면도파로의 두께를 1.2~2.2 μm 사이에서 조정하였다. 두께가 다른 평면도파로를 측면연마된 광섬유 블록과 결합시 광통신 파장영역인 $1.55\mu\text{m}$ 에서 부근에서 TM 통과 혹은 TE 통과 편광기 동작하는 것을 알 수 있다. 이때 광섬유 모드와 결합하는 평면도파로모드의 TE 1차 와 TM 1차 모드로 추정된다. 삽입손실은 측면 연마하기 전의 광섬유의 출력광(ref.로 표기)과 소자 제작 후 출력광의 세기를 비교하는 방법으로 측정하였으며 그 결과 0.5dB 정도로 나타났다. 그리고 편광소멸비가 16dB 이상 되는 파장범위는 TE 및 TM 편광기 모두 편광기는 130nm이상 됨을 알 수 있다. 기존에 보고된 광섬유-평면도파로 결합기형 편광기^[6]가 40nm 정도의 동작대역폭을 가는 것과 비교하면 성능이 많이 개선되었다고 볼 수 있다. 여기서 편광 소멸비란 두 편광의 광전력비를 의미한다. 제작된 편광기는 광원의 스펙트럼 폭이 넓은 경우도 적용할 수 있고 기존에 보고된 소자^{[5][6]}와 달리 공진파장을 원하는 동작파장과 정확하게 일치시키지 않아도 편광기로서 동작을 할 수 있다. 평면도파로의 두께를 더 줄여서 평면도파로의 TE0 모드와 공진 결합을 이용하면 그림 5(b)의 결과보다 더 동작파장범위가 넓은 특성을 기대 할 수 있다. 본 논문에서 제안된 편광기 구조는 전기광학 폴리머나 복굴절 크리스탈을 평면도파로로 이용하고자 할 때 필요한 폴링이나 연마과정 등의 복잡한 공정이 요구되지 않는다. 평면도파로층으로 복

굴절특성이 없는 물질도 이용될 수 있기 때문에 평면도파로의 물질선택이 자유롭고 소자구조가 비교적 간단하여 제작이 쉽다.

V. 결 론

측면이 코어 가까이 연마된 단일모드 광섬유와 금속클래드를 가지는 평면도파로 사이의 광결합을 이용한 편광기를 구현하였다. 금속 클래드 도파로의 큰 복굴절을 이용하여 원하는 파장영역에서 TE 또는 TM 편광 성분 중 하나만을 광섬유로부터 평면도파로 방향으로 빠져나가게 하였다. 이러한 소자구조는 평면도파로의 구조에 따라 원하는 편광성분을 제거할 수 있는 특징을 가진다. 넓은 대역제거 폭을 얻기 위하여 비교적 굴절률이 작은 폴리머를 평면도파로 물질로 이용하였다. 광섬유 연마, 평면도파로 형성등 소자 제조 공정을 소개하였다. 제작된 소자의 편광소멸비가 16dB 이상되는 파장 범위는 130nm 이상 되었으며, 삽입손실은 0.5dB 정도였다. 제작된 소자의 편광에 따른 공진파장간의 차이는 이론적 예측과 잘 일치하였다. 제안된 편광기는 소자구조가 비교적 단순하여 소자제작이 용이한 장점을 가지고 있다.

참 고 문 헌

- [1] R. A. Bergh, H. C. Lefevre, and H. J. Shaw, "Single-mode fiber-optic polarizer," *Optics Lett.*, Vol. 5, No. 11, pp. 479-481, November, 1980.
- [2] Ssu-Pin Ma and Shiao-Min Tseng, "High-performance side-polished fibers and applications as liquid crystal clad fiber polarizers," *IEEE J. of Lightwave Tech.* Vol. 15, No. 8, pp. 1554-1558, August, 1997.
- [3] Walter Johnstone, G. Stewart, T. Hart, and B. Culshaw, "Surface plasmon polaritons in thin metal films and their role in fiber optic polarizing devices," *IEEE J. of Lightwave Tech.* Vol. 8, No. 4, pp. 538-543 April, 1990.
- [4] S. M. Tseng, K. Y. Hsu, H. S. Wei and K. F. Chen, "Analysis and experiment of thin metal-clad fiber polarizer with index overlay,"

- IEEE Photonics Tech. Lett., Vol. 9, No. 5, pp628-630, May, 1997.
- [5] 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, 1997.
- [6] A. Andreev, Bl. Pantchev, Pantchev, P. Danesh, B. Zafirova, and E. Karakoleva, "a-Si:H film on side-polished fiber as optical polarizer and narrow-band filter," Thin Solid Films, Vol. 330, pp150-156, 1998.
- [7] S. A. Hanilton, 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.
- [8] Z. K. Ioannidis, I. P. Giles, and C. Bowry, "All-fiber optic intensity modulator using liquid crystals," applied optics, Vol. 30, No. 3, pp.328-333, January, 1991.
- [9] S. Creaney, W. Johnstone, and K. McCallion, " Continuous-fiber modulator with high-bandwidth coplanar strip electrodes," IEEE Photonics Tech. Lett. Vol. 8, No. 3, pp. 355-357, March, 1996.
- [10] Shou Xian She, " Propagation loss in metal-clad waveguides and weakly absorptive waveguide by a perturbation method," Optics Letters, Vol. 15, No. 16, pp.900-902, August, 1990.
- [11] G. Fawcett, W. Johnstone, I. Andonovic, D. J. Bone, T. G. Harvey, N. Carter, and T. G. Ryan, "In - line fiber-optic intensity modulator using electro-optic polymer," Electron. Lett. Vol. 28, No. 11, pp. 985-986, may, 1992.
- [12] Shiao-Min Tseng and Chin-Lin Chen," Side-polished fiber, "Applied optics, Vol. 31, No. 18, pp. 3438-3447, June, 1992.
- [13] 김광택, 송재원 " 단일모드 광섬유와 다중모드 평면도파로의 소산장 결합을 이용한 광필터의 동작 특성 측정," 대한전자공학회 논문지-D, 36권 D 편, 7호, pp.622-629, 7월, 1999

 저 자 소 개

金光鐸(正會員) 第 36卷 D編 第 7號 參照

宋在元(正會員) 第 36卷 D編 第 7號 參照

姜信元(正會員) 第 36卷 D編 第 7號 參照



鄭雄圭(正會員)

1999년 2월 경남대학교 전자공학과 (공학사). 1999년 3월~현재 경북대학교 센서공학과 석사과정. 주관심 분야 : 광섬유소자, 광섬유센서