

論文2003-40SD-9-4

얇은 중간 금속층을 포함한 측면 연마 광섬유 결합기를 이용한 편광 분리기

(Polarization Splitter Made of the Side-Polished Fiber Coupler Including a thin Metal Intermediate Layer)

金光鐸*, 李準玉*

(Kwang Taek Kim and Jun Ock Lee)

요약

얇은 중간 금속층을 가지는 측면 연마 광섬유 결합기를 이용한 편광분리기를 구현하였다. 실험 결과는 적절한 두께를 가지는 중간 금속층은 두 측면 연마된 광섬유 사이에서 TE 편광 성분의 광결합은 차단시키는 반면 TM 편광성분의 광결합은 허용함을 보여주었다. 측면 연마 광섬유를 이용한 편광분리기 설계 및 제작 기법을 기술하였다. 제작된 편광분리기는 TE와 TM 편광에 대하여 18dB와 23dB의 분리비를 보였다. 삽입손실은 TE 편광의 경우 0.7dB, TM 편광의 경우 1.3dB로 측정되었다.

Abstract

We have demonstrated an in-line polarization splitter based on a side-polished fiber coupler including a thin metal intermediate layer. The experimental results revealed that the metal layer with proper thickness prevents TE polarization component from optical coupling between two contacted side-polished fibers, whereas it allows TM polarization component to the coupling. The design and fabrication techniques about the polarization splitter exploiting the side-polished fibers have been presented. The fabricated polarization splitter exhibited 18dB and 23dB of isolation ratio for TE polarization and TM polarization, respectively. The measured insertion loss for TE and TM polarization was 0.7dB and 1.3dB, respectively.

Keyword : polarization splitter, side-polished fiber, coupler, metal layer

I. 서론

측면 연마 광섬유 결합기는 비록 제작 공정이 다소

복잡하지만 다양한 응용이 가능하기 때문에 많은 연구가 진행 되어 왔다. 측면 연마 광섬유 결합기의 응용으로 가변 광결합기^[1], 광 스위치/변조기^[2], 광 필터^[3]등이 잘 알려져 있다. 측면 연마 광섬유 결합기의 중간에 굴절률이 큰 유전체층이 있는 경우 소자의 동작 특성은 중간 유전체층의 두께와 굴절률에 매우 의존한다^[4]. 측면 연마된 두개의 단일 모드 광섬유 사이에 금속 박막이 있는 광결합기는 편광 선택적 결합특성을 가지며, 이 소자를 편광 분리기로 응용 할 수 있음이 제안되었다^[7].

본 논문은 얇은 중간 금속 층을 가지는 측면 연마

* 正會員, 湖南大學校 光電子工學科

※ 본 논문은 한국과학재단 지정 전남대학교 광소재 부품센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음. 실험에 많은 도움을 주신 (주)도남 시스템의 김영기 생산부장님께 감사드립니다.

接受日字:2003年2月4日, 수정완료일:2003年9月2日

광섬유 결합기를 이용한 편광 분리기에 관한 실험 연구 결과를 보고한다. 금속층의 두께가 소자의 특성에 미치는 영향을 실험으로 분석하였고 이를 통해 최적의 금속층의 두께를 찾아내었다. 이러한 실험 결과를 바탕으로 TE 편광과 TM 편광을 분리할 수 있는 결합기 구조를 찾고 이를 편광 분리기로 활용할 수 있음을 실험으로 검증하였다. 소자의 성능은 삽입 손실과 편광 분리비로 평가하였다.

II. 동작원리

금속과 유전체 사이의 경계조건을 적용해 보면 TE 편광의 세기는 금속내부로 갈수록 급속히 세기가 감소한다. 반면 TM 편광은 표면 플라즈몬 효과 때문에 금속내부로 잘 침투하며 금속층의 두께가 광학적으로 유한할 경우 금속층을 투과 할 수 있다. 이러한 현상을 측면 연마 광섬유에 응용하여 편광기 및 광센서로 이용가능하다^[8-11].

<그림 1(a)>과 같은 두개의 측면 연마된 광섬유로 이루어진 광결합기의 중간에 적당한 두께를 가지는 금속층이 있는 경우 TE 편광은 광결합이 차단되고 TM 편광은 광결합이 허용될 수 있다. TM 편광성분은 금속의 두께, 두 광섬유 코어 사이의 간격에 결합비가 의존한다. <그림 1(b)>에서 a , d , t_m , R 은 광섬유 코어반경, 연마 후 남은 클래딩 두께, 금속층의 두께, 광섬유 곡률 반경을 각각 나타낸다. 여기서 두개의 측면 연마된 광섬유는 동일한 것으로 간주한다. n_{co} 와 n_{cl} 는 광섬유 코어와 클래딩의 굴절률이다. TM 편광성분은 광학적 흡수를 발생시키는 금속내부로 일부 광에너지가 전송되기 때문에 TE 편광보다 더 큰 손실을 가진다. <그림 1>에 제안된 결합기 구조에서 TM 편광성분은 금속층의 두께가 증가할수록 흡수 손실이 크게 발생하기 때문에^[7] 금속의 두께를 적절하게 설정하는 것이 소자의 성능에 매우 중요하다. 금속의 두께는 TE 편광성분이 결합되는 것을 차단할 수 있을 정도로 두꺼워야 하고 동시에 TM 편광 성분의 흡수손실이 최소가 되도록 가 가능하면 얇게 해야 한다.

편광 분리기를 설계하기 위하여 광섬유를 평면도파로^[12] 등가화하고 직교모드이론^[13]으로 소자의 전달 특성을 구하였다. <그림 2>에 금속의 두께가 10nm인 경우에 대해 TE와 TM 편광의 결합 영역에서 전송과정이 제시되어 있다. 금속의 굴절률은 광통신 파장에서

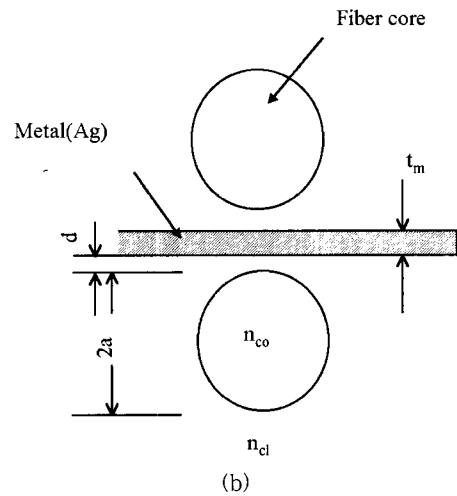
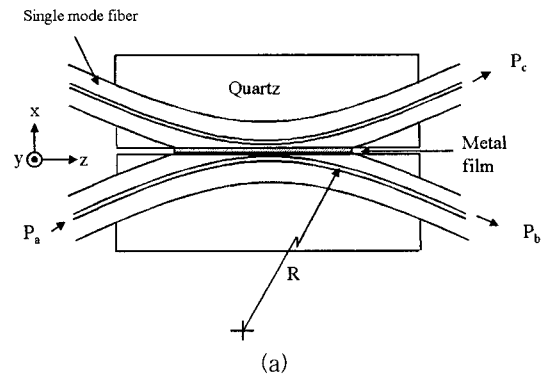


그림 1. (a) 금속박막이 포함된 측면 연마광섬유 결합기 구조, (b) 소자의 단면 형상

Fig. 1. (a) Structure of side-polished fiber coupler including a thin metal intermediate layer, (b) cross section view of the device.

은의 경우 $0.3-j9.0$, 알루미늄의 경우 $1.2-j12$ 이다^[14]. <그림 2>에서 TE 편광 성분은 금속박막에 의해 반대편 광섬유로 결합이 차단되는 반면에 TM 편광 성분은 반대편 광섬유로 완전히 결합됨을 알 수 있다. 소자의 성능을 TE와 TM 편광 입력에 대하여 두 출력광의 분리비와 삽입손실로 나타낼 수 있다.

분리비(isolation ratio)

$$[dB] = \begin{cases} 10 \log(P_c/P_b) & \text{for TE polarization} \\ 10 \log(P_b/P_c) & \text{for TM polarization} \end{cases} \quad (1)$$

삽입손실(insertion loss)

$$[dB] = \begin{cases} 10 \log(P_a/P_b) & \text{for TE polarization} \\ 10 \log(P_a/P_c) & \text{for TM Polarization} \end{cases} \quad (2)$$

<그림 2>의 구조조건에서 이론적으로 금속층이

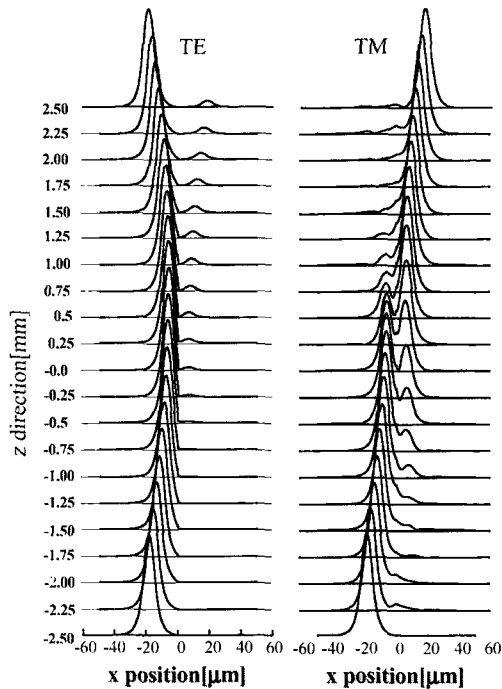


그림 2. 금속층이 포함된 측면 연마광섬유 결합기의 TE 및 TM 편광의 전송 과정 계산 결과, $\lambda = 1550\text{nm}$, $a = 4.1\mu\text{m}$, $d = 1.5\mu\text{m}$, $t_m = 10\text{nm}$, $R = 25\text{cm}$, $n_{co} = 1.4485$, $n_{cl} = 1.4440$, 금속의 굴절률은 $0.3 - j9.0$

Fig. 2. Calculated optical transmission of the side-polished fiber coupler including a thin metal layer for TE and TM polarization, $\lambda = 1550\text{nm}$, $a = 4.1\mu\text{m}$, $d = 1.5\mu\text{m}$, $t_m = 10\text{nm}$, $R = 25\text{cm}$, $n_{co} = 1.4485$, $n_{cl} = 1.4440$, refractive index of metal is $0.3 - j9.0$.

10nm인 경우 TE 및 TM 모두 분리비는 28dB 이상, 삽입손실은 0.3dB 이하로 예측되었다. 실제 소자제작공정에서는 두 광섬유 코어사이의 간격을 기계적인 방법으로 미세하게 조절하는 방법을 도입하였다.

III. 실험 및 분석

광섬유의 클래딩을 제거하기 위해 퀴츠 블록(길이: 2.5cm, 폭: 1cm, 두께: 0.5cm)에 광섬유 클래딩 두께보다 약간 넓은 홈을 다이아몬드 휠로 새긴다. 홈의 곡률반경(R)은 25cm이다. 광섬유 코팅을 일부 탈피시키고 홈 속에 광섬유를 자외선 경화에폭시(NOAA81)로 고정하고 광섬유를 퀴츠 블록과 함께 연마한다. 두개의 측면 연마된 광섬유를 결합시키기 위해서는 연마된 퀴츠

블록의 평탄도와 연마된 광섬유 클래딩의 거칠기가 매우 중요하다. 연마 후 남은 클래딩 두께는 Liquid drop 방법^[15]으로 간략하게 측정한다. 측면 연마된 광섬유 클래딩위에 굴절률이 광섬유 코어 보다 더 큰 용액을 올렸을 때 발생하는 손실로써 남은 클래딩의 두께를 측정하는 방법이다. <그림 3>에 준비된 3개의 측면 연마 광섬유 블록위에 올려놓은 용액의 굴절률에 따른 측정된 손실량과 이론적으로 예측한 손실량이 제시되어 있다. 손실은 용액의 굴절률이 광섬유 코어와 유사할 때 가장 크다. 최대 손실이 발생할 때 TE편광과 TM 편광의 손실차이, 즉 편광의존성 손실은 0.3dB 이하로 관측되었다. 퀴츠 블록 표면의 평탄도가 양호한 경우 원하는 파장에서 Liquid drop 방법으로 측정된 최대 손실이 통상적으로 16 ~ 17dB 정도를 가지는 두개의 측면 연마 광섬유 블록을 결합하여, 두 광섬유 코어사이의 간격을 조절하면 0% 에서 100% 까지 원하는 결합비율을 얻을 수 있음을 확인 하였다. 이때 두 측면 연마된 광섬유 사이에 발생할 수 있는 미세한 공기층을 광섬유 클래딩과 굴절률이 동일한 정합액을 이용하여 제거한다.

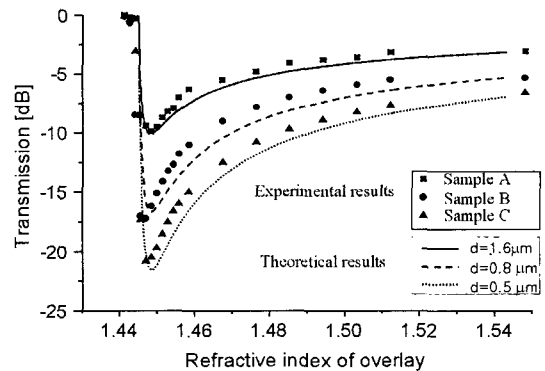
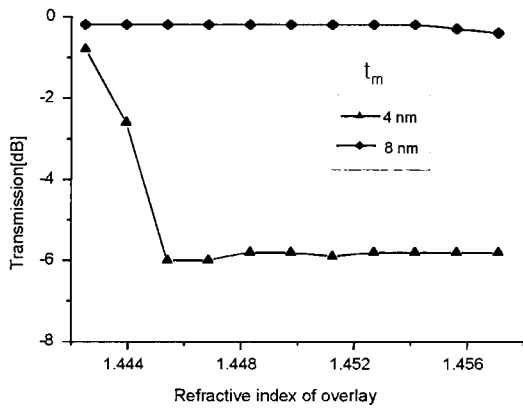


그림 3. 1550nm 파장에서 상부 유전체(overlay dielectric)의 굴절률에 따른 측면 연마 광섬유의 손실, $R = 25\text{cm}$, $n_{co} = 1.4484$, $n_{cl} = 1.4440$, $a = 4.1\mu\text{m}$

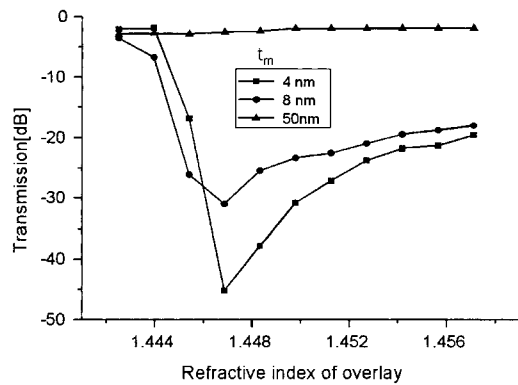
Fig. 3. Optical transmission loss of a side-polished fiber as a function of refractive index of overlay dielectric under 1550nm of wavelength, $R = 25\text{cm}$, $n_{co} = 1.4484$, $n_{cl} = 1.4440$, $a = 4.1\mu\text{m}$.

측면 연마 광섬유(sample C)위에 증착된 금속(Ag)층의 두께에 따른 손실을 TE 편광과 TM 편광에 대해 각각 측정하였다. 금속이 매우 얇은 경우 TE 편광도

금속을 투과하여 상부 유전체로 누설되며 큰 손실을 가지는 것을 <그림 4(a)>로부터 알 수 있다. 금속층이 두꺼워짐에 따라 TE 편광의 최대 손실은 급속히 감소하였다. 금속층의 두께가 8nm 이상일 때 TE 편광의 최대 손실이 0.5 dB 이하로 나타났다. TM 편광의 경우, 금속층의 두께가 4nm 및 8nm 일 때 최대 손실이 금속층이 없을 때 보다 훨씬 더 크게 나타났다. 이 현상의 원인은 얇은 금속층이 있을 때 표면 플라즈몬 효과에 의해 금속층 주위로 광이 국한되려는 성질¹⁷⁾ 때문에 광섬유모드와 상부 유전체층으로 누설되는 모드사이의 소산장 결합이 더 커지기 때문인 것으로 분석된



(a)



(b)

그림 4. 연마된 광섬유 클래딩위에 증착된 금속 층의 두께와 상부유전체층의 굴절률 변화에 따른 측면 연마 광섬유의 전달 특성, (a) TE 편광, (b) TM 편광

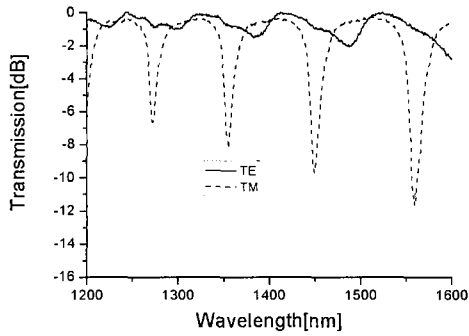
Fig. 4. Optical transmission of a side-polished fiber covered with a metal film with variation of metal film thickness and refractive index of overlay, (a) TE polarization, (b) TM polarization.

다. 결론적으로 금속층의 두께가 8nm 부근일 때 두 직교하는 편광을 분리하기 위한 적절한 금속 두께임을 확인하였다.

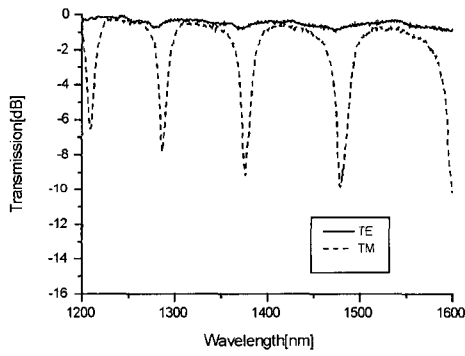
방향성 결합기 구조에서 금속 층이 중간에 포함되었을 때 TE 편광과 TM 편광이 분리되는 현상을 설명하고 금속층의 두께의 영향을 규명하기 위하여 금속층이 포함된 광섬유-평면도파로 결합기를 제작하였다. 광섬유-평면도파로 결합기는 비대칭적 방향성 결합기로 매우 큰 파장 선택성을 가진다¹⁰⁾. 광섬유 모드와 평면도파로 모드 사이에 위상 정합을 만족할 때 두 도파로 사이의 광결합이 가장 크게 발생한다. 측면 연마된 광섬유 클래딩(sample A)위에 은(Ag) 박막을 증착하고 그 위에 다시 굴절률이 파장 1550nm에서 1.6인 폴리머를 약 14 μm 두께로 스핀 코팅한 광섬유-평면도파로 결합기를 제작하여 TE 및 TM 편광의 분리현상을 파장 응답특성으로 관측하였다. 금속층의 두께 변화에 따른 TE 및 TM 편광의 파장응답 특성이 <그림 5(a), (b), (c)>에 제시되어 있다. 금속층의 두께가 매우 얇은 경우는 <그림 5(a)>이 보듯이 TE 편광 성분도 평면도파로와 약간의 결합이 발생하지만 금속층의 두께가 10nm 이상인 경우 <그림 5(c)>이 보듯이 TM 편광만 두 파도파로 사이에 결합이 발생함을 알 수 있다. 이때 광섬유 모드와 폴리머 평면도파로 모드사이에서 위상정합을 만족하는 파장은 광섬유로부터 평면도파로로 광에너지가 전달되는 공진 현상¹⁰⁾이 TM 편광에서는 뚜렷하게 나타났다. 금속층이 충분히 두꺼운 경우 TE 편광 성분은 소자 구조와 별개로 거의 손실 없이 결합영역을 통과한다. TM 편광에 대하여 이 소자는 비대칭적 방향성 결합기로 동작하였으며 공진 파장 밖의 영역에서 소자의 삽입손실은 1dB 미만으로 관측되었다. 금속의 두께가 얇고, 결합길이가 2~3mm 정도로 짧기 때문에 금속층에 의한 큰 흡수 손실은 발생하지 않음을 알 수 있다.

마지막으로 8~10nm 두께의 금속(Ag) 박막이 증착된 측면 연마된 광섬유(Sample C)에 또 다른 한 개의 측면 연마된 광섬유(Sample B)를 결합하여 1550nm 파장에서 편광분리 특성을 관측하였다. 두개의 연마된 광섬유 블록을 물리적으로 결합할 때 중간에 공기층을 없애고 마찰에 의한 금속박막이 벗겨지는 것을 방지하기 위하여 굴절률 정합액을 연마된 광섬유위에 한 방울 떨어뜨린 후 결합한다. 1550nm 파장의 DFB 레이저 광을 편광제어기를 통해 제작된 소자에 입력한다. 두개

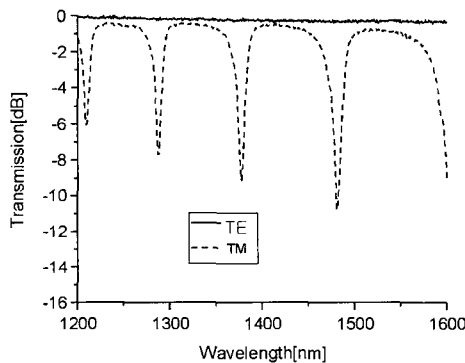
의 측면 연마된 광섬유를 <그림 6>과 같이 마이크로메타가 장착된 광섬유 결합기용 지그를 이용하여 정렬하였다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. 중간 금속 층이 있는 광섬유-평면도파로 결합기의 파장 응답, 평면도파로층의 두께는 12.5~12.7 μ m, (a) tm=3~5nm, (b) tm=8~10nm, (c) tm=15~17nm,

Fig. 5. Optical wavelength response of fiber to planar waveguide coupler with a thin metal intermediate layer, thickness of planar waveguide layer is 12.5~12.7 μ m, (b) tm=8~10nm, (c) tm=15~17nm.

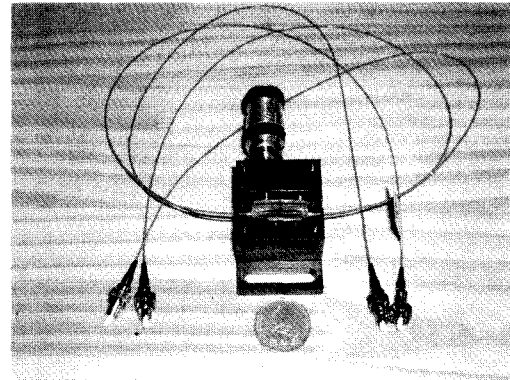


그림 6. 중간 금속층을 포함한 측면 연마 광섬유 결합기 사진.

Fig. 6. Picture of the side-polished fiber coupler including a thin metal intermediate layer.

소자에 입력되는 광의 편광상태와 두 광섬유 사이의 간격을 동시에 조절하면서 TM 출력단에 가장 큰 광출력이 관측되면 두 쿼츠 블록을 고정한다. 입력되는 광의 편광상태에 따라 두 출력광의 세기가 가변 된다. 측정된 TE 편광의 분리비는, 18dB, 손실은 0.7dB로 측정되었다. 반면 TM 출력단의 분리비는 23dB, 삽입 손실은 1.3dB로 측정되었다. TM 편광이 삽입 손실이 더 큰 이유는 금속 박막에 의한 흡수 손실에 기인하는 것으로 예측된다. 제안된 소자구조는 대칭적 구조의 방향성 결합기로 파장이 길수록 두 도파로 사이의 결합은 커진다. 따라서 제작된 편광 분리기는 광원의 파장에 따라 광섬유 코어의 간격을 제어하여 최적의 조건으로 설정하여 사용할 수 있다. 제안된 소자는 길이가 짧기 때문에 리셉터클(receptacle) 구조로 제작이 가능할 것으로 예측된다.

IV. 결론

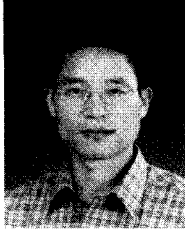
금속 박막층이 포함된 광섬유 결합기를 이용하여 편광 분리기로 이용할 수 있음을 실험으로 검증하였다. 중간층으로 도입된 금속 박막에 의해 TE 편광성분은 두 도파로 사이에서 결합이 차단된다. 반면 TM 편광성분은 금속 밖으로 소산장이 투과하기 때문에 광 결합이 허용되는 원리를 이용하였다. 편광 분리에 적절한 금속 두께를 실험적으로 찾았고 이를 소자 제작에 이용하였다. 두 광섬유 코어 사이의 간격을 미세하게 조절함으로써 TE 편광과 TM 편광이 분리됨을 확인하였다. 제작된 편광 분리기는 TE 출력단에서 18dB의 편광

소멸비와 0.7dB의 삽입 손실과 TM 출력단에서 23dB의 편광 소멸비와 1.3dB의 삽입 손실을 보였다. 두 광섬유 코어사이의 간격을 조절하여 동작 파장을 선택할 수 있는 기능성도 있어 향후 파장응답 특성에 관한 연구가 필요하다.

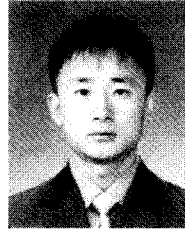
참 고 문 헌

- [1] Michel J. F. Dignonet and Herbert J. Shaw, "Analysis of a tunable single mode foner coupler," IEEE J. of Quantum Electronics, Vol. Qe-18, No. 4, pp. 746-754, 1982.
- [2] G. Fawcett, W. Johnstone, I. Andonovic, D. J. Bone, T. G. Harvey, N. Carter, and T. G. Ryan, "In - line fibre-optic intensity modulator using electro-optic polymer," Electron. Lett., Vol. 28, No. 11, pp. 985-986, 1992.
- [3] O. Leminger, and R. Zengerle, "Bandwidth of directional-coupler wavelength filters made of dissilar optical fibers," Electron. Lett., Vol. 23, No. 5, pp. 241-242, 1986.
- [4] A. T. Andreev, K. P. Panajotov, and B. S. Zafirova, "Polished fiber-optic couler with intermediate planar waveguideing layer-Part I," IEEE J. of Lightwave Tech. Vol. 10, No. 7, pp. 882-887, 1992.
- [5] A. T. Andreev, K. P. Panajotov, and B. S. Zafirova, "Polished fiber-optic coupker with intermediate planar waveguideing layer-Part II," IEEE J. of Lightwave Tech. Vol. 10, No. 7, pp. 1363-1366, 1992.
- [6] A. Andreev, B. Zafirova, K. Panajotov, and J. Koprinarova, "Exprimental investigation of the influence of the refractive index of the intermediate planrar layer on the properties of a polished type single mode fiber coupler," J. of Modern Optics, Vol 43, No. 6, pp. 1111-1125, 1996.
- [7] 김광택, 황보 성, "금속층이 포함된 측면 연마광 섬유 결합기의 편광 분리특성," 한국광학회지, 13 권, 3호, pp. 228-234, 6월호 2002
- [8] W. Jhohnstone, G. Stewart, T. Hart and B. Culshaw, "Surface Plasmon polaritons in the metal films and their role in fiber optic polarizing devices," IEEE J. of Lightwave Tech., Vol. 8, No. 4, pp. 538-543, 1990.
- [9] K. T. Kim, J. W. Song, "Investigation of thermo-optically tunable finer-to-planar waveguide coupler," Optics Comm. Vol. 205, pp. 113-122, 2002.
- [10] 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 waveguide," Opt. Comm. Vol. 180, pp. 37-42, 2000.
- [11] K. T. Kim, J. H. Hwang, J. O. Lee, J. P. Mah, C. H. Kim, S. Hwangbo, "Investigation on the optical properties of side-polished fiber contacted with planar waveguide including a thin metal film," Opt. Eng. Vol. 42, No. 3, pp. 675-681, 2003 .
- [12] A. Sharma, J. Kompella, and P. K. Mishra, "Analysis of fiber directional couplers and coupler half blocks using a new simple model for single mode fiber," IEEE J. of Lightwave Tech., Vol. 8, No.2, pp. 143-151, 1990.
- [13] C. H. Chen and Likam Wang, "Maximization of extinction ratios of thin-metal optical waveguide polarizer with proper dielectric cover-layer thickness," Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39, No. 7A, pp. 4130-4137, 2000.
- [14] M. A. Ordal, L. L. Long, R. J. Bell, S. E. Bell, R. W. Alexander Jr, and C. A. Ward, "Optical properties of the metals Al, Co, Cu, Fe, Pb, Ni, Pd, Pt, Ag, Ti, and W in the infrared and for infrared," Appl. Optics, Vol. 22, No. 7, pp. 1099-1120, 1983.
- [15] S. M. Tseng and C. L. Chen, "Side-polished fibers," Appl. optics Vol. 31, No. 18, pp. 3438-3447, 1992.

저 자 소 개



金 光 鐸(正會員)
현재 : 호남대학교 광전자공학과
교수



李 準 玉(正會員)
2002년 : 호남대학교 대학원 전기
전자공학과 석사졸업