

유전체 박막 거울 내장형 광섬유 결합기

신 종 덕
한국전자통신연구소

(1993년 11월 18일 받음)

융착 접속 기술을 이용하여 다중모우드 광섬유와 단일 모우드 광섬유내에 유전체 박막 거울을 제작하였다. 45° 유전체 거울이 내장된 광섬유는 극소형이며, 광학적인 손실이 매우 작고(1.3 μm에서, 다중모우드 광섬유의 경우 0.2 dB, 단일 모우드 광섬유의 경우 0.5 dB), 기계적 강도가 우수한 결합기로 사용될 수 있다. 반사율은 파장에 따라 변화하며, 편광에 매우 민감하였다. 백색광을 사용하여 유전체 거울로부터 반사되는 출력 파워를 원거리 스캔하며 측정하였을 때 출력 빔의 모양은 거의 원형 대칭으로써 최대 파워의 5%에서 측정된 종횡비는 1.09이었다. 다이오우드 레이저 광원을 사용하여 측정된 다중모우드 광섬유 결합기의 광 분파율은 종래의 FBT(Fused Biconical Taper) 결합기보다 입력 광신호의 결합 조건에 따른 변화가 훨씬 적어서 사용하는 광통신 시스템의 모우드 잡음에 덜 민감하다. 광섬유 축에 수직하게 증착된 다층 유전체 거울들의 반사율 스펙트럼 특성을 측정하였으며, 행렬 해석법을 사용하여 실험 결과를 분석, 고찰하였다.

I. 서 론

거울형 방향성 결합기^[1]의 출현 이래 이와같은 형태의 결합기^[2-8]를 광통신 시스템에 응용하기 위한 연구가 지속되어 왔다. 이들 결합기들은 파장 분할 다중화 시스템에서 탭,^[1-2] 파장 다중화기/역다중화기^[3-7] 등으로, 센서 시스템에서는 편광기,^[8] 빔 분할기 등으로 이용할 수 있다. 광섬유로부터 광신호의 일부분을 탭핑하는 방법으로는 GRIN (Graded-Index) 렌즈 시스템을 제외하고 대부분의 거울형 광섬유 결합기의 구현을 위해 광섬유 단면을 경사지게 연마하는 방법이 사용되었다. 유전체 박막 거울 내장형 결합기의 중요한 부분은 유전체 박막 거울로서 굴절률, 박막 층의 갯수, 그리고 박막 층의 두께를 선택함에 따라 이용하려는 파장대와 반사율을 갖는 다층 박막의 설계가 가능하다. 거울은 통상 광섬유의 단면이나 유리, 또는 GRIN 렌즈 등에 박막을 증착시켜 만든다. 현재까지 보고된 모든 거울형 결합기들은 결합체를 지지하기 위해 광학용 접착제와 기계적인 지지대등을 사용하였기 때문에 주위 환경의 변화에 민감하며, 부피도 커지게 된다. 따라서 이러한 종래의 결합기에서 발생하는 단점들을 제거하기 위해, 본 연구에서는 유전체 박막 거울 내장형 광섬유 결합기의 제작 방법을 제안하였다.

광섬유의 융착접속방법^[9]은 두가닥의 광섬유 끝이 서로 맞닿은 부분에 전기 방전 불꽃을 가해 광섬유를 영구적으로 접속시키는 기술로 광통신 분야에서 널리 사용되고 있다. 이와같은 방법을 사용하여 한쪽 끝에 TiO₂가 증착된 광섬유와 박막이 증착되지 않은 보통의 광섬유를 융착 접속기내에서 영구 접속시켜 Fabry-Perot 센서^[10]를 성공적으로 제작하였으며, 경사지게 연마된 광섬유 단면에 유전체를 증착시킨 후 같은 각도를 가진 광섬유를 서로 융착 접속시켜 탭^[11]을 만들기도 하였다.

본 논문에서는 하나의 박막층 및 여러 개의 박막층으로 구성된 유전체 거울에 관한 연구를 수행하였다. II장에서는 결합기의 제작 방법에 대하여 간단하게 기술하며, III장에서는 결합기의 반사율, 투과율 및 손실의 스펙트럼과 편광에 따른 반사율의 변화에 관한 실험적, 이론적 연구 결과를 고찰하며, 마지막으로 IV장에서는 본 연구의 유전체 박막 거울 내장형 결합기에 대한 연구 결과를 요약한다.

II. 유전체 박막 거울이 내장된 광섬유 결합기의 제작

단층 유전체 박막 거울이 내장된 광섬유 결합기의 도면은 그림 1과 같다. 단층 또는 다층 유전체 박막 거

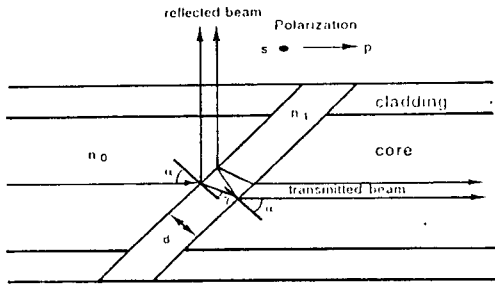


그림 1. Dielectric mirror embedded optical fiber coupler.

울은 광섬유 축과 α 의 각도를 이루며 광섬유 내에 위치하고 있다. α 는 광섬유의 축과 박막의 수직 축이 이루는 각도이다. 이와같은 구조는 클리빙, 연마, 유전체 박막 증착, 그리고 용착 접속의 순서로 구현된다. 본 연구에서는 단층의 박막 재료로 TiO_2 ($n_1=2.4$, $T_m=1850^\circ\text{C}$)를 사용하였고, TiO_2 와 SiO_2 ($n_1=1.46$, $T_m=1710^\circ\text{C}$) 박막을 순차 증착시켜 다층 박막을 만들었다. 각 박막의 두께는 전자빔 증착 장치내에서 광섬유의 방향으로 $1.3\ \mu\text{m}$ 에서 $1/4$ 파장의 두께가 되도록 하였다. TiO_2 는 $0.5\sim 1.0\ \text{\AA}/\text{s}$, 산소공급시의 진공이 $4.3\times 10^{-4}\ \text{Torr}$, 300°C 의 조건에서 증착되었다. SiO_2 는 $1\sim 3.0\ \text{\AA}/\text{s}$, 산소공급시의 진공이 $2.0\times 10^{-4}\ \text{Torr}$, 300°C 의 조건에서 증착되었다. 클리빙된 광섬유의 단면에 증착되는 박막의 반사율은 $1.3\ \mu\text{m}$ 레이저 다이오우드를 광원으로 사용하여 증착하는 동안 실시간으로 측정하였다. 결합기용 45° 거울($\alpha=45^\circ$)이나 낭섬유 축과 90° 를 이루는 거울($\alpha=0^\circ$)을 광섬유에 내장하기 위해서는 용착 접속기내에서 박막이 증착된 광섬유와 박막이 증착되지 않은 보통의 광섬유를 접속하여 만들었다. 광섬유의 축과 90° 를 이루는 거울의 경우에는 반사율 측정이 가능하나 45° 거울의 경우에는 측정이 불가능하므로, 용착 접속시 거울을 통과하여 광섬유로부터 출력되는 투과 파워를 측정하여 간접적으로 결합기의 반사율을 확인하였다.

III. 실험 및 결과

1. 반사율, 투과율, 손실

1.1 이론

손실이 없는 균일한 유전체 박막의 특성 행렬^[12]은 입사면에 수직(\perp)한 편광에 대하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$[M] = \begin{bmatrix} \cos \beta & \frac{j}{p_1} \sin \beta \\ jp_1 \sin \beta & \cos \beta \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 $\beta = k_1 \cos \gamma d$, $k_1 = 2\pi m_1/\lambda$, $p_1 = (\epsilon_1/\mu_1)^{1/2} \cos \gamma$, γ 는 박막의 수직축과 이루는 각도, n_1 은 박막의 굴절률, d 는 박막의 두께이다. 전계와 자계를 행렬로 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} E_i \\ H_i \end{bmatrix} = [M] \begin{bmatrix} E_T \\ H_T \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 E_i 와 H_i 는 $z=0$ 에서 총 전계 및 자계이고, E_T 와 H_T 는 박막을 투과한 총 전계 및 자계이다. GRIN형태의 굴절률은 박막의 축을 따라 여러 개의 슬랩으로 나누고, 각 슬랩에서의 굴절률은 일정하다고 가정한다. 마지막 박막 슬랩으로부터 순차적으로 특성 행렬을 곱하면 다음과 같이 행렬 $[M]$ 을 얻을 수 있다.

$$[M] = [M_1][M_2]\cdots[M_{i-1}][M_i] \quad (3)$$

$E_i = 1+r$, $H_i = p_i(1-r)$, $E_T = t$, $H_T = p_i t$ 이므로 식 (1)-(3)으로 부터 다음과 같이 t 와 r 를 얻을 수 있다.

$$t = \frac{2p_i}{(m_{11} + m_{12}p_T)P_i + (m_{21} + m_{22}p_T)} \quad (4)$$

$$r = \frac{(m_{11} + m_{12}p_T)P_i - (m_{21} + m_{22}p_T)}{(m_{11} + m_{12}p_T)P_i + (m_{21} + m_{22}p_T)} \quad (5)$$

윗 식들에서 m_j 는 M 의 성분들이다. 따라서 식 (4)와 (5)로부터 반사율과 투과율을 구할 수 있다.

$$R_{\perp} = |r|^2 \quad (6)$$

$$T_{\perp} = \frac{P_T}{P_i} |t|^2 \quad (7)$$

입사면에 평행(\parallel)인 편광에 대해서는 모든 수식의 p 를 q 로 치환하면 되는 데, 여기서 $q = (\mu/\epsilon)^{1/2} \cos \gamma$ 이다.

1.2 반사율, 투과율, 손실의 측정

광섬유 결합기의 반사율(R), 투과율(T) 및 손실($1-R-T$)을 측정하기 위한 실험 장치의 구성은 그림 2와 같다. 텅스텐 램프에서 발생되는 백색 광은 스캐닝 모노코로 매터에 의해 단색광으로 되며, 측정 감도를 높이기 위해 출력과 록-인 증폭기를 사용하였다. 단색광은 20x의 현미경 대물 렌즈를 통해 20 m 길이의 광섬유에 결합된다. 단층의 TiO_2 박막이 내장된 다중모우드 광섬유 결합기의 측정된 반사율, 투과율 및 손실 스펙트럼은 그림 3과

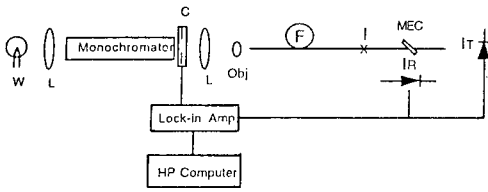


그림 2. Experimental setup for measurements of R , T , and $L (=1-R-T)$ of mirror embedded fiber couplers. W: tungsten lamp, L: lens, C: Chopper, Obj: 20x microscope objective lens, F: optical fiber, MEC: mirror embedded fiber coupler.

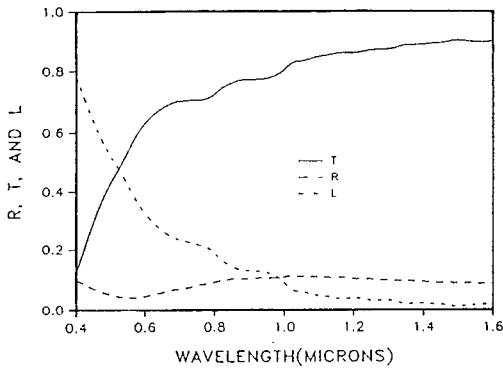


그림 3. Measured spectra of reflectance, transmittance, and excess loss for multimode coupler.

같다.

Si 시험 기판에 증착된 박막으로부터 측정된 굴절률은 $0.63 \mu\text{m}$ 에서 2.58 이고 두께는 1100 \AA 이었다. 그림 3에서 나타나듯이 광손실은 $0.4 \mu\text{m}$ 에서 약 78% (6.6 dB)이고 파장이 증가함에 따라 급격히 감소하여 $1.3 \mu\text{m}$ 에서 $1.6 \mu\text{m}$ 사이의 파장 영역에서 광 손실은 평균 0.2 dB 이었다. 단일 모우드 광섬유 결합기의 경우 광 손실은 $1.3 \mu\text{m}$ 에서 약 0.5 dB 이었는데 광섬유 코어의 크기가 다중모우드 광섬유보다 훨씬 작아 상대적으로 광섬유 정렬이 어려워서 생겼다.

1.3 광섬유의 축과 45° 인 거울($\alpha = 45^\circ$)

그림 4는 $0.4 \sim 1.0 \mu\text{m}$ 에서 손실이 $\lambda^{-2.27}$ 에 비례함을 보여주고 있다. 즉, 이 파장영역에서는 Mie산란이 결합기의 주된 손실 메커니즘임을 나타내고 있다. 이와같은 산란 손실이 파장에 따라 변화하는 것은 미세한 결절체, 기포, 불순물 입자 등을 내포하는 불화 광섬유^[13]에 있

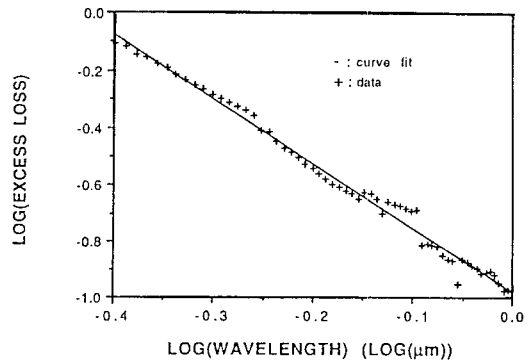


그림 4. Excess loss spectrum in the $0.4 \sim 1.0 \mu\text{m}$ range for multimode coupler.

어서 파장에 따른 산란 손실의 변화와 비슷하다. 광섬유 결합기에서 발생하는 이와같은 손실은 거울을 내장시키는 용착 접속 과정에서 야기되었다. 왜냐하면 용착 접속되기 전에는 손실이 박막에 거의 존재하지 않았기 때문이다.

간섭 이론에 따르면 박막에서의 최대 반사율은 박막의 굴절률과 비례하며, 최대 반사율이 일어나는 파장들은 박막의 두께와 관계가 있다. 박막의 굴절률이 계단형(step index)이라고 가정된 후, 측정된 최대 반사율과 이 반사율을 갖는 파장에 따라 계산하면 박막의 굴절률과 두께는 1.94 와 1550 \AA 이다. 이와같이 용착 접속 후 박막의 두께가 늘어나고 굴절률이 작아진 것은 용착 접속시 TiO_2 박막과 광섬유 코어의 재질인 $\text{GeO}_2/\text{SiO}_2$ 가 상호 확산되었음을 의미한다.

결합기 박막의 굴절률을 결정하기 위해 초-가우시안 형태의 GRIN $n(z)$ 를 가정하였다.

$$n(z) = n_p \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z}{z_0}\right)^{2m}\right] + n_0 \quad (8)$$

여기서 n_p 는 초-가우시안 함수의 진폭으로 $z=0$ 에서 박막의 굴절률은 n_p 와 광섬유 코어 굴절률 n_0 의 합으로 표시된다. m 은 초-가우시안의 차수이다. $m=1$ 의 경우 위의 굴절률은 가우시안 형태가 된다. 계산을 간단하게 하기 위해서 박막은 파장에 따른 분산이 없다고 가정하였다. 수치 계산을 위해서 박막을 50개의 슬랩으로 나누었다. 슬랩들의 두께는 같고, 각 슬랩내에서의 굴절률은 일정하다. 시행착오에 의해 초-가우시안의 차수가 결정된 후 측정된 반사율과 일치하는 박막의 최대 굴절률이 계산되었다. 그 다음에는 박막의 두께를 조정하여

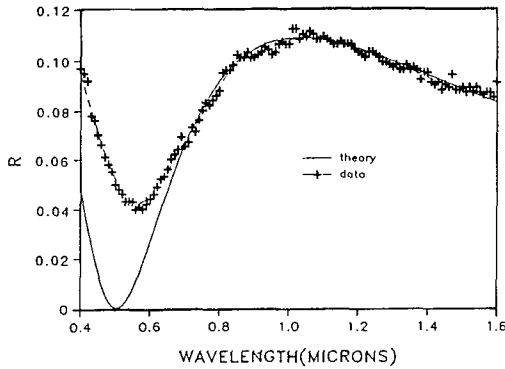


그림 5. Reflectance spectra for multimode coupler($\alpha=45^\circ$).

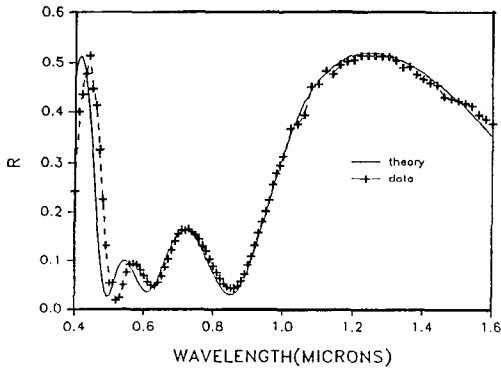


그림 6. Measured and calculated reflectance spectra for 3-layer ($\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$) coated multimode fiber($\alpha=0^\circ$).

최대 반사율이 일어나는 파장을 찾았다. 측정된 반사율 스펙트럼과 계산된 스펙트럼은 그림 5와 같다. 그림 5에 사용된 초-가우시안의 차수는 3이며, z_0 는 908 \AA , n_p 는 0.5328이었다. 따라서, 박막의 최대 굴절률은 1.9928이 된다. 수치 계산으로 얻은 최대 반사율과 파장은 각각 10.85%와 $1.03 \mu\text{m}$ 이었다. 적외선 영역에서의 반사율 계산치와 측정치가 훌륭하게 일치함을 볼 수 있다.

1.4 광섬유 축과 90°인 거울($\alpha=0^\circ$)

보다 높은 반사율을 갖는 거울을 만들기 위해서는 유전체 박막의 수를 늘리는 것이 필요하다. 광섬유 축과 90°인 3층의 박막($\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$)이 증착된 다중모드 광섬유로부터 측정 및 계산된 반사율 스펙트럼은 그림 6과 같다. 계단형의 굴절률(step index)을 가정할 때, TiO_2 의 굴절률은 2.092, SiO_2 는 1.46로 계산되었다. 박막이 정확히 1/4 파장의 두께로 증착이 되었을 경우 박막

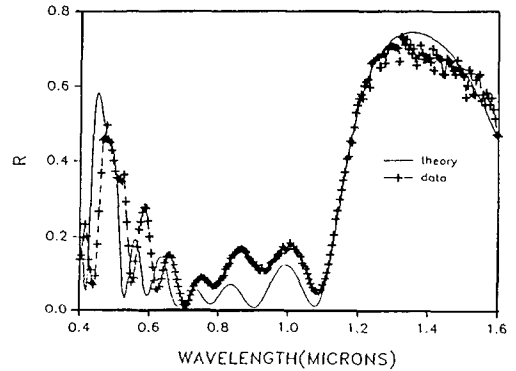


그림 7. Measured and calculated reflectance spectra for 7-layer ($\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$) coated multimode fiber($\alpha=0^\circ$).

두께의 변조 상수를 1로 정의하여, 본 거울에서 TiO_2 박막의 두께 변조는 0.93 (즉, $0.93 \times 1/4$ 파장), SiO_2 박막의 두께 변조는 1로 가정하였다. 가시광선 영역에서의 스펙트럼 천이는 굴절률의 분산에서 기인한다고 여겨진다. 그림 7은 TiO_2 와 SiO_2 가 번갈아 가며 증착된 7개 박막으로 구성된 거울의 반사율 스펙트럼이다. 수치 계산에 사용된 TiO_2 박막의 굴절률과 두께 변조는 각각 2.15와 1.125이었다. 용착 접촉에 의해 제작된 다층 박막 내장 거울로부터 $1.3 \mu\text{m}$ 에서 측정된 손실은 0.5 dB로 단층 박막 거울의 손실보다 훨씬 컸다. 이와같이 증가된 손실은 박막 수의 증가에 따른 박막의 총 두께가 증가되어서 발생한 결과일 것이다.

2. 편광

단층 박막 내장형 결합기에 있어서 입사면에 수평 및 수직 편광에 대한 반사율의 파장에 따른 변화에 대하여 연구하였다. 이 실험을 위한 장치의 구성은 그림 8과 같다. 광원으로는 $0.85 \mu\text{m}$ 과 $1.06 \mu\text{m}$ 파장에서의 측정을 위해 텅스텐 램프를 사용하였고, $1.3 \mu\text{m}$ 파장에서의 측정은 다이오우드 레이저를 사용하였는데 이 경우 입사광의 편광을 없애기 위하여 광섬유 결합기의 전단에 약 1 km 길이의 다중모드 광섬유를 연결하였다.

결합기로부터 반사된 빛의 편광비(R_\perp/R_\parallel)는 $0.85 \mu\text{m}$, $1.06 \mu\text{m}$, $1.3 \mu\text{m}$ 에서 각각 10.6, 12, 16.1이었다. III.1.3 절의 굴절률 모양으로 부터 유도된 편광비와 위의 측정치가 그림 9에 도시되어 있다. 결합기의 거울 경사가 Brewster각에 접근하였기 때문에, 예상대로 높은 편광비가 나타났다.

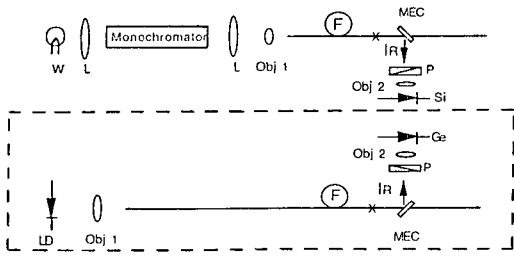


그림 8. Experimental setup for polarization measurements of mirror embedded fiber couplers. The setup in the dashed line is for measurements at $1.3 \mu\text{m}$. W: tungsten lamp, LD: $1.3 \mu\text{m}$ laser diode, L: lens, Obj 1: 20x microscope objective lens, Obj 2: 10x microscope objective lens, F: optical fiber, P: polarizer, Si: silicon detector, Ge: germanium detector, MEC: mirror embedded fiber coupler.

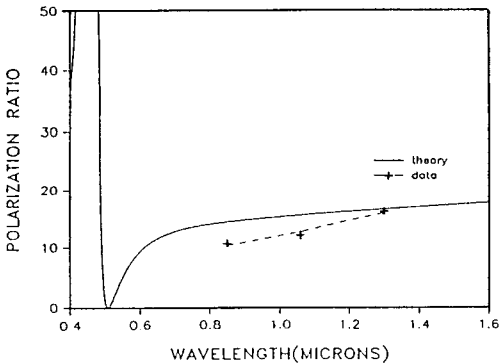


그림 9. Calculated and measured polarization ratio (R_{\perp}/R_{\parallel}) for the coupler.

3. 원거리 빔의 모양

반사된 빛의 원거리 빔 모양은 그림 10의 실험 장치 구성으로 측정하였다. Xe 램프로부터 발생되는 백색광이 20x의 배율을 갖는 현미경 대물렌즈 2개를 거쳐 긴 광섬유에 입사된다. 모터로 구동되는 트랜슬레이터에 부착된 다중모우드 탐침 광섬유를 사용하여 결합기에서 반사된 빔을 횡축과 종축으로 스캔하여 파워를 측정하였다. 탐침 광섬유의 끝은 결합기에서 11 mm 떨어진 지점에 위치시켰다.

측정된 원거리 빔의 모양은 그림 11과 같다. 최대 파워의 5%되는 지점에서 측정된 빔의 종축과 횡축의 비는 1.09이다. 이와 같은 종횡비는 광섬유 클래딩의 렌즈

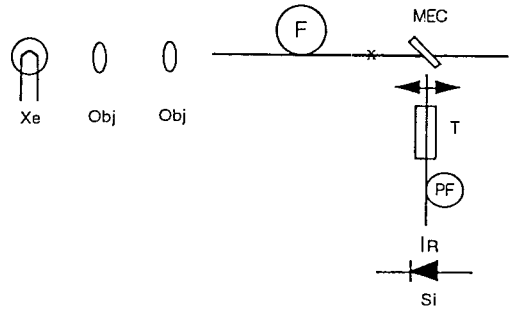


그림 10. Experimental setup for far-field beam profile measurements of mirror embedded fiber couplers. Xe: xenon lamp, Obj: 20x microscope objective lens, F: optical fiber, T: translator, Si: silicon detector, PF: probe fiber, MEC: mirror embedded fiber coupler.

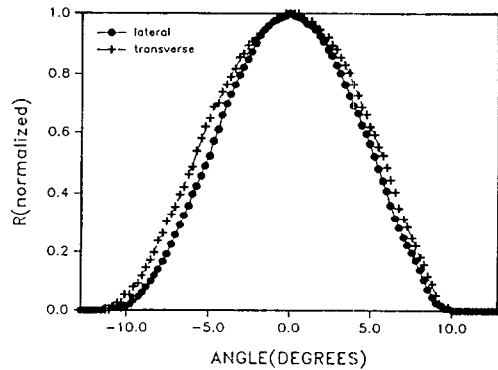


그림 11. Measured far-field beam profiles of the coupler.

효과에 의한 것으로 예상된다. 종축에서 측정된 원거리 빔의 모양을 가우시안 꼴로 하면 최대 파워의 e^{-2} 지점에서 측정된 반각은 8.8° 이다. 이와 유사한 원거리 빔의 모양은 결합기를 투과하여 클리빙된 광섬유의 끝에서도 관찰되었다.

4. 모우드 여기로 인한 결합비의 변화

다중모우드 광섬유 전송 시스템에서의 모우드 잡음^[14-15]은 수신단에서 열악한 신호대 잡음비를 초래한다. 레이저 광이 다중모우드 광섬유에 결합되어서 전송될 때 어떤 모우드 2개 사이의 시간 지연이 레이저의 기간 시간보다 짧은 경우, 모우드 사이의 간섭으로 인해 출력 광섬유의 수신단에서는 파워의 변화가 일어난다. 단일

모우드 광섬유도 2개의 모우드가 중첩되어 있는 경우이므로 모우드 잡음을 발생시킨다. 수신 파워의 변화는 광섬유의 물리적 왜곡에 상당히 민감하다. 다중모우드 FBT결합기^[16-17]는 모우드 잡음에 민감하다고 널리 알려져 왔다. 모우드 선택적인 입력 광의 결합 실험으로 유전체 거울 내장형 결합기와 FBT 결합기의 모우드 잡음에 따른 영향을 연구하였다.

모우드 감도 측정 실험을 위한 실험 장치의 구성도는 그림 12와 같다. 레이저 다이오드의 출력 빔은 다중모우드 광섬유에 접속되었으며 이 광섬유의 원단은 유전체 박막 거울 내장형 결합기 또는 FBT 결합기에 융착 접속되었다. 광섬유의 근단을 횡축으로 이동시키며 레이저 빔이 광섬유 단면의 각기 다른 위치에 접속되도록 하여 광섬유 모우드를 여기시켰다. 유전체 거울 내장형 결합기의 경우에는 I_R 과 I_T 를, FBT결합기의 경우에는 I_{T1}

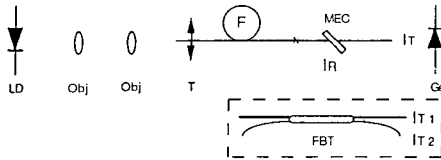


그림 12. Experimental setup for modal sensitivity measurements of multimode fiber couplers. LD: 1.3 μm laser diode, Obj: 20x microscope objective lens, T: translator, F: optical fiber, P: polarizer, Ge: germanium detector, MEC: mirror embedded fiber coupler. FBT: fused biconical-taper coupler.

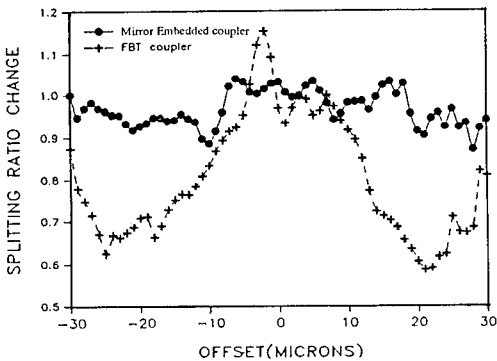


그림 13. Power splitting ratio change with launching offset in transverse direction for mirror embedded coupler and fused biconical-taper coupler.

과 I_{T2} 를 각각의 위치에서 측정하였다.

모우드 여기 위치에 따라 양 결합기에 대하여 측정된 파워비의 변화가 그림 13에 도시되어 있다. FBT결합기는 침투치 파워의 변화가 57%이고, 유전체 박막 거울 내장형 결합기는 17%이었다. 이와같이 양 결합기 사이의 모우드 여기 위치에 따른 파워의 변화 차이는 결합기들의 서로 다른 구조에 기인한다. FBT결합기의 결합 메커니즘은 evanescent파^[16,18]에 의한 것이기 때문에, 결합기에서 결합되어 출력으로 나타나는 광섬유 모우드들은 주로 고차의 모우드들만이 선택된다. 반면에, 유전체 박막 거울이 내장된 결합기는 광섬유 단면 전체에 걸쳐서 거의 모든 모우드가 균일하게 결합되므로 FBT 결합기보다 모우드 선택도가 상대적으로 상당히 작게되어 출력 파워의 변동이 적다.

5. 기계적 특성

융착 접속에 의해 제작된 단층 유전체 거울이 내장된 결합기는 2분간의 인장 시험에서 평균 인장 강도가 20 kpsi로 상당히 견고한 접속도를 보였다.

IV. 결 론

융착 접속기술로 1.3 μm 에서, 손실이 다중모우드 광섬유의 경우 0.2 dB, 단일 모우드 광섬유의 경우 0.5 dB인 유전체 박막 거울이 내장된 광섬유 결합기를 제작하였다. 광섬유에 내장된 유전체 박막 거울의 굴절률은 융착 접속 과정에서 코어 물질과 박막의 상호 확산으로 변화하였다. 단층 박막 거울이 내장된 광섬유 결합기는 극소형이고, 제작이 간편하며, 평균 인장 강도가 20kpsi로 우수한 기계적인 특성을 보였다. Mie산란이 결합기의 주된 손실 메커니즘으로 나타났다. 결합기의 반사율은 예상대로 파장에 따라 변화하며, 편광에 매우 민감한 변화를 보였으며, 반사 편광비(R_{\perp}/R_{\parallel})는 1.3 μm 에서 16.1로 측정되었다. 광학 박막 행렬 해석법은 결합기의 반사율과 편광비를 모델링하기에 매우 효과적이고 간단한 방법이며, 이 방법을 사용하여 계산한 결과와 실험 결과가 훌륭하게 일치하였다. 반사된 빛의 원거리 빔의 모양은 최대 파워의 5%되는 파워에서 측정시 종횡비가 1.09이었다. 레이저 다이오드를 사용하여 측정된 다중모우드 거울 내장형 광섬유 결합기의 광 분파비는 FBT 결합기보다 훨씬 안정하였다. 이 결과로부터 유전체 박막 거울 내장형 결합기를 사용하는 시스템이 FBT 결합기를 사용하는 시스템보다 모우드 잡음이 적을 것이라 예상된다.

감사의 글

본 논문을 발표할 수 있도록 협조해 주신 한국통신, 체신부 관계자들과 한국전자통신연구소의 이일항 박사께 심심한 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

- [1] H. Kuwahara, J. Hamasaki and S. Saito, "A semi-transparent mirror-type directional coupler for optical fiber applications," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, **MTT-23**, 179(1975).
- [2] M. A. Karr, T. C. Rich and M. DiDomenico, Jr., "Lightwave fiber tap," *Appl. Opt.*, **17**, 2215(1978).
- [3] E. Miyauchi, T. Iwama, H. Nakajima, N. Tokoyo, and K. Terai, "Compact wavelength multiplexer using optical-fiber pieces," *Opt. Lett.*, **5**, 321(1980).
- [4] G. Winzer, H. F. Mahlein and A. Reichelt, "Single-mode and multimode all-fiber directional couplers for WDM," *Appl. Opt.*, **20**, 3128(1981).
- [5] H. Yanagawa, T. Ochiai, H. Hayakawa and H. Miyazawa, "Filter-embedded design and its applications to passive components," *J. Lightwave Technol.*, **LT-7**, 1646(1989).
- [6] K. Kobayashi, R. Ishikawa, K. Minemura, and S. Sugimoto, "Micro-optic devices for fiber-optic communications," *Fiber Integrated Opt.*, **2**, 1(1979).
- [7] J. Minowa and Y. Fujii, "Dielectric multilayer thin-film filters for WDM transmission systems," *J. Lightwave Technol.*, **LT-1**, 116(1983).
- [8] H. Yanagawa, T. Ochiai, H. Hayakawa and H. Miyazawa, "Miniature fiber optic polariser," *Electron. Lett.*, **24**, 596(1988).
- [9] J. T. Krause, W. A. Reed and K. L. Walker, "Splice loss of singlemode fiber as related to fusion time, temperature, and index profile alteration," *J. Lightwave Technol.*, **LT-4**, 837(1986).
- [10] C. E. Lee and H. F. Taylor, "Interferometric optical fibre sensors using internal mirrors," *Electron. Lett.*, **24**, 193(1988).
- [11] J. D. Shin, C. E. Lee, D. B. Conway, R. A. Atkins and H. F. Taylor, "Internal Mirror Optical Fiber Couplers," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, **1**, 276(1989).
- [12] L. E. Busse, G. H. McCabe and I. D. Aggarwal, "Wavelength dependence of the scattering loss in fluoride optical fibers," *Opt. Lett.*, **15**, 423(1990).
- [13] D. J. McCartney, "The analysis of volume reflection gratings using optical thin-film techniques," *Opt. Quantum Electron.*, **21**, 93(1989).
- [14] R. E. Epworth, "The phenomenon of modal noise in analogue and digital optical fibre systems," in *Proc. IEE Fourth European Conference on Optical Communications*, Genoa, Italy, pp. 492-501, 1978.
- [15] T. H. Wood and L. A. Ewell, "Increased received power and decreased modal noise by preferential excitation of low-order modes in multimode optical-fiber transmission systems," *J. Lightwave Technol.*, **LT-4**, 391(1986).
- [16] B. S. Kawasaki and K. O. Hill, "Low-loss access coupler for multimode optical fiber distribution networks," *Appl. Opt.*, **16**, 1794(1977).
- [17] K. O. Hill, Y. Trembley and B. S. Kawasaki, "Modal noise in multimode fiber links: theory and experiment," *Opt. Lett.*, **5**, 270(1980).
- [18] B. S. Kawasaki, K. O. Hill and R. G. Lamont, "Biconical-taper single-mode fiber coupler," *Opt. Lett.*, **6**, 327(1981).

Dielectric Thin Film Mirror Embedded Optical Fiber Couplers

Jong-Dug Shin

Electronics and Telecommunications Research Institute, Taejon 305-606, Korea

(Received: November 18, 1993)

Dielectric thin film mirrors are embedded in multimode and single-mode fibers by a fusion splicing technique. The fibers with 45° angled embedded mirrors serve as ultra-compact directional couplers with low excess optical loss of 0.2 dB for multimode and 0.5 dB for single mode at $1.3 \mu\text{m}$ and excellent mechanical properties. The reflectance is wavelength dependent and strongly polarization dependent. Far-field scans of the reflected output power measured with a white-light source show a pattern which is almost circularly symmetric with aspect ratio of 1.09 at 5% of the peak power. The splitting ratio in a multimode coupler measured with a diode laser source is much less dependent on input coupling conditions than in conventional fused biconical-taper couplers, indicating that these couplers are less susceptible to modal noise occurring in optical fiber communication systems. Spectral properties of multilayer internal mirrors normal to the fiber axis have been investigated experimentally, and a matrix analysis has been used to explain the results.