

## 금속층이 포함된 측면 연마 광섬유 결합기의 편광 분리 특성

김광택<sup>†</sup> · 황보승

호남대학교 광전자 공학과

Ⓣ 706-714 광주광역시 광산구 서봉동 59-1

(2002년 3월 26일 받음, 2002년 5월 6일 수정본 받음)

금속박막이 포함된 측면 연마 광섬유 결합기의 편광 선택적 결합 특성에 관한 이론적 연구 결과를 보고한다. 직교 모드를 이용하여 다양한 구조 조건에서 소자의 결합 특성을 분석하였다. 금속 박막의 두께가 증가함에 따라 TE 모드사이의 결합의 세기는 급격히 약해지는 반면에 TM 모드의 결합의 세기는 커짐을 보였다. 높은 편광 소멸비와 낮은 삽입 손실을 가지는 편광 분리기의 설계 조건을 제시하였다.

주제어 : side-polished fiber, coupler, polarization, metal film.

### I. 서 론

광섬유 편광 분리기는 코히어런트 광통신이나 광센서 분야에서 핵심적인 소자이다. 편광 분리기는 두개의 직교하는 편광 성분을 합성 할 수 있는 기능도 가지기 때문에 광섬유 증폭기 시스템에서 두개의 편광광을 합성하여 편광광의 출력을 높이는 용도로 이용 될 수 있다.

단일 모드 광섬유는 복굴절성이 거의 없지만 두개의 광섬유로 이루어진 광 결합기는 단면 구조의 비등방성 때문에 편광에 의존하는 특성을 가지며, 그 결과로의 결합길이가 충분히 길면 직교하는 두 개의 편광 성분을 분리할 수 있다.<sup>[1,2]</sup> 광섬유 결합기를 편광 분리기로 이용할 때 결합길이를 줄이기 위해서는 소산장 결합(evanescent field)이 발생하는 영역에서 큰 편광 의존적 결합 특성이 필요하다. 측면 연마 광섬유 결합기에 매우 큰 편광 의존적 결합 특성을 부여하는 방법으로 두 연마된 광섬유 사이에 금속 박막층을 위치시키는 기법이 소개되었다.<sup>[3]</sup> 단일모드 광섬유로 이루어진 측면 연마 광섬유 결합기의 중간에 금속 박막이 존재할 경우 TE(전기장이 금속면과 수평) 편광 성분은 금속박막에 의해 두 도파로에서 소산장 결합이 차단되는 반면에 TM(자기장이 금속면과 수평) 편광 성분은 금속 박막을 투과 할 수 있기 때문에 두 광섬유 사이에 소산장 결합이 발생한다. 소자 구조를 적절하게 조절하면 TM 편광 성분만 광경로가 바뀌는 현상을 이용하여 TE 편광 성분과 TM 편광 성분을 분리 할 수 있다. 하지만 아직 까지 결합기 중간층에 놓인 금속 박막의 두께와 두 광섬유 코어 사이의 간격 등 구조 변수들이 소자의 성능에 미치는 영향을 분석한 연구 결과는 아직 보고되지 않았다. 특히 금속은 광학적 흡수를 유발시키기 때문에 소자 구조의 최적화를 통하여 성능을 극대화시키기 위한 연구가 필요하다.

본 논문의 목적은 금속 박막층이 포함된 측면 연마 광섬유

결합기의 구조 변수에 따른 성능을 예측하고 편광 분리기로 동작하기 위한 최적의 구조 조건을 이론적으로 구하는 데 있다. 소자 해석시 광섬유를 등가적인 평면도파로로 대체하는 기법을 도입하여<sup>[4]</sup> 2차원 구조를 1차원 구조로 다루었다. 등가화된 평면도파로의 유효굴절률과 코어 대 클래딩 장의 분포 비율은 실제 광섬유와 일치된다. 일반 단일모드 광섬유에서는 편광 방향에 관계없이 LP<sub>01</sub>모드의 유효굴절률은 일정하다. 그러나 평면도파로의 TE 모드와 TM 기본 모드의 유효 굴절률은 다르다. 하지만 등가화된 평면도파로의 코어와 클래딩의 굴절률차이가 매우 작고 대칭적이기 때문에 TE 모드와 TM 모드의 유효굴절률차이는 극히 작다. 따라서 실제 광섬유 결합기와 이를 등가화 시킨 두개의 평면도파로 결합기의 전달특성은 거의 동일하다.<sup>[4]</sup> 결합 영역에서 TE 모드와 TM 모드의 전달 특성은 직교 모드 이론(normal mode theory)<sup>[5]</sup>을 이용하여 해석하였다. 금속 두께와 두 광섬유의 코어 사이의 간격이 소자의 손실과 결합 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 금속에 의한 흡수 손실을 최소화시키는 동시에 두 직교하는 편광성분을 완전히 분리 할 수 있는 소자 구조를 제안하였다.

### II. 이 론

#### 2.1. 금속 박막의 광학적 기능

본 논문에서 다루어지는 소자 구조는 그림 1과 같다. 여기서 두 개의 측면 연마된 광섬유는 동일한 구조를 가지는 것으로 간주한다. TE 편광은 금속 내에서는 급속히 그 세기가 감소하는 반면 TM 편광 성분은 금속을 TE 편광 성분보다 훨씬 더 잘 투과한다. 그림 1과 같이 두개의 측면 연마된 광섬유를 이용한 방향성 결합기의 중간에 금속 박막이 존재한다고 가정하자. 적절한 두께를 가지는 금속 박막층은 TM 편광 성분만 두 도파로사이에서 소산장 결합을 허용한다. 따라서 TE 편광 성분은 두 도파로 사이에 에너지 교환이 차단되는 반면에 TM 편광 성분은 두 도파로 사이에서 에너지 교환이 허용

<sup>†</sup>E-mail: ktkim@honam.ac.kr

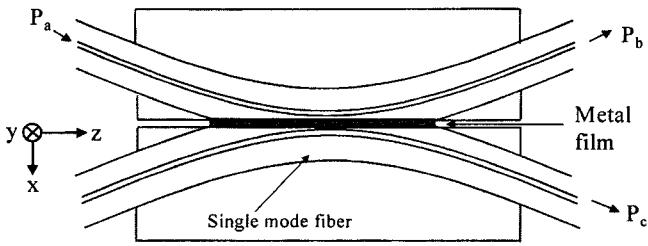


그림 1. 금속층이 포함된 측면 연마 광섬유 결합기 구조.

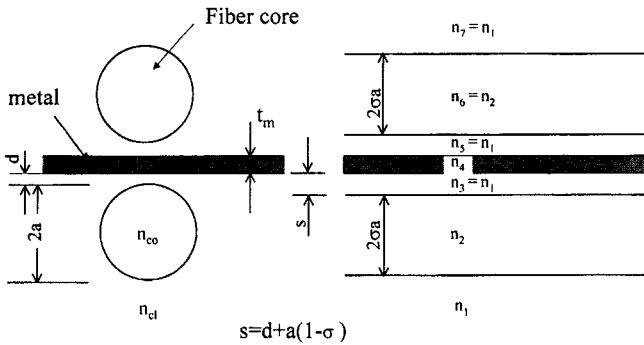


그림 2. 측면 연마 광섬유 결합기의 단면 구조와 다층 평면 도파로로 등가화된 구조.

되기 때문에 그림 1의 소자는 두 직교하는 편광성분을 출력단의 양쪽 광섬유로 분리 할 수 있다. 그림 1에서  $P_a$ 는 입력광의 전력,  $P_b$ 와  $P_c$  출력단에서 두 광섬유의 광전력을 의미한다. 그림 1의 단면 구조를 그림 2와 같이 광섬유를 등가적인 평면도파로로 대체하는 기법을 도입하여 소자의 특성을 분석하였다. 그림 2에서 금속 박막의 두께는  $t_m$ , 연마 후 남은 클래딩 두께는  $d$ , 광섬유 코어의 굴절률은  $n_{co}$ , 클래딩의 굴절률은  $n_{cl}$ 로 표시하였다.  $s$ 는 등가화된 평면도파로의 클래딩의 두께를 뜻하며 광섬유와 등가인 평면도파로의 두께와 굴절률 변환 과정은 참고문헌[4]에 잘 설명되어 있다.

TE 모드는 TE 편광으로 여기된 모드, TM 모드는 TM 편광으로 여기된 모드를 뜻한다. 소자해석에서 광섬유의 코어의 반지름은(a) 4.1  $\mu\text{m}$ , 코어의 굴절률은  $n_{co}=1.4485$ 와 클래딩의 굴절률( $n_{cl}$ )은 1.444로 설정하였다. 알루미늄의 굴절률은 파장 1.55  $\mu\text{m}$ 에서 1.44 + j16이다.<sup>[6]</sup>

소자의 완전한 전달특성을 구하기 전에 그림 3과 같이 하나의 측면 연마된 광섬유를 평면도파로로 대체하고 금속 박막이 광섬유 코어 근처에 존재할 때 TE와 TM 기본 모드의 변화를 해석하는 것은 결합기의 동작 특성을 이해하는데 도움이 된다. 등가화된 평면도파로는 구조 상수는 실제 광섬유와 동일한 유효굴절률 및 장의 분포 비율(friction of field distribution) 가지도록 설정되어진다. 그림 3에서  $\sigma$ 는 0.8712이다. 여기서 금속의 두께에 따른 TE 모드와 TM 모드의 생김새(mode profile)와 유효굴절률의 변화를 살펴보기로 한다. 금속은 알루미늄으로 가정하였다. 금속 박막이 포함된 다층 구조를 가지는 평면도파로의 모드의 해를 근사적인 방법<sup>[7,8]</sup>으로 구한 후 엄밀한 해는 Newton Raphson 해석 방법<sup>[9-11]</sup>을 이용하여 구하였다. 다층 평면 도파로 구조에 금속층이 포함되어 있기 때

$x_4 = X_3 + t_m$ [ $\mu\text{m}$ ]	$n_5 = 1.44337$	Superstrate
$x_3 = 9.143$ [ $\mu\text{m}$ ]	$n_4 = 1.44 + j 16.0$	Metal layer
$x_2 = 7.143$ [ $\mu\text{m}$ ]	$n_3 = 1.44337$	Fiber clad
$x_1 = 0$ [ $\mu\text{m}$ ]	$n_2 = 1.44710$	Fiber core
	$n_1 = 1.44337$	Fiber clad

그림 3. 금속층을 가지는 측면 연마 광섬유의 등가적인 다층 평면 도파로 구조,  $s = 2.0 \mu\text{m}$ .

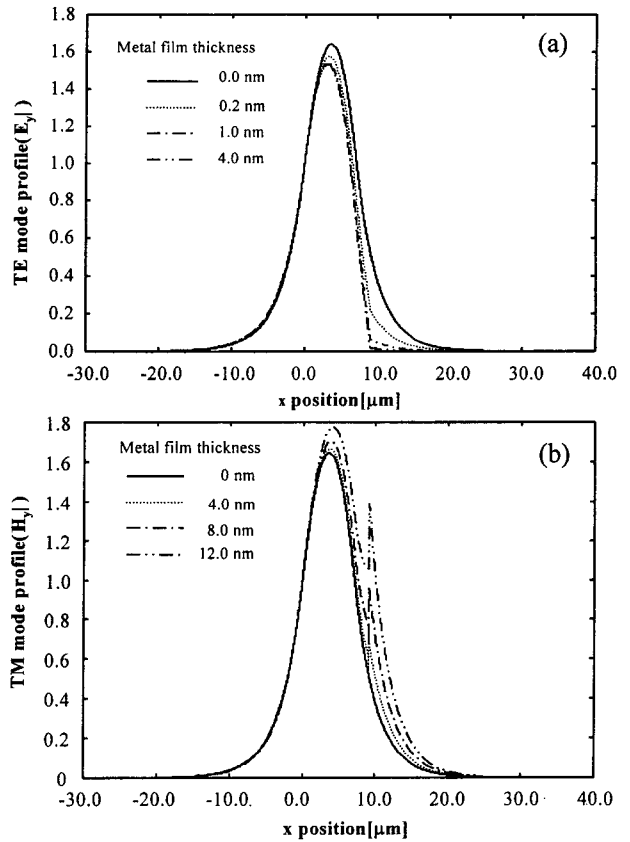


그림 4. 금속층의 두께에 광섬유 모드의 생김새, (a) TE 모드, (b) TM 모드,  $x=0$ 에서 장의 세기가 1이 되도록 정규화 하였음.

문에 금속에 의한 흡수 손실이 존재하며 모드의 유효굴절률은  $n_e = n_{er} + j n_{ei}$ 로 표현한다. 그림 3에서 최상부층(superstrate)의 굴절률은 광섬유 클래딩의 굴절률과 동일한 것으로 가정한다.

그림 4는 금속 두께에 따른 TE 모드와 TM 모드의 생김새를 나타내고 있다. TE 모드의 생김새는 금속막과 평행한 전기장( $E_y$ )로 나타내고 TM 모드의 생김새는 금속박막과 평행한 자기장( $H_y$ )로 나타낸다. 금속 박막이 없는 경우 TE 모드와 TM 모드의 생김새는 거의 동일하다. 금속의 두께가 증가함에 따라 최상부층 내의 TE 모드의 소산장의 세기는 급격히 감소하는 반면 TM 모드의 소산장의 세기는 오히려 약간 증가함을 그림 4는 보이고 있다. 금속박막의 두께가 점점 증가하면

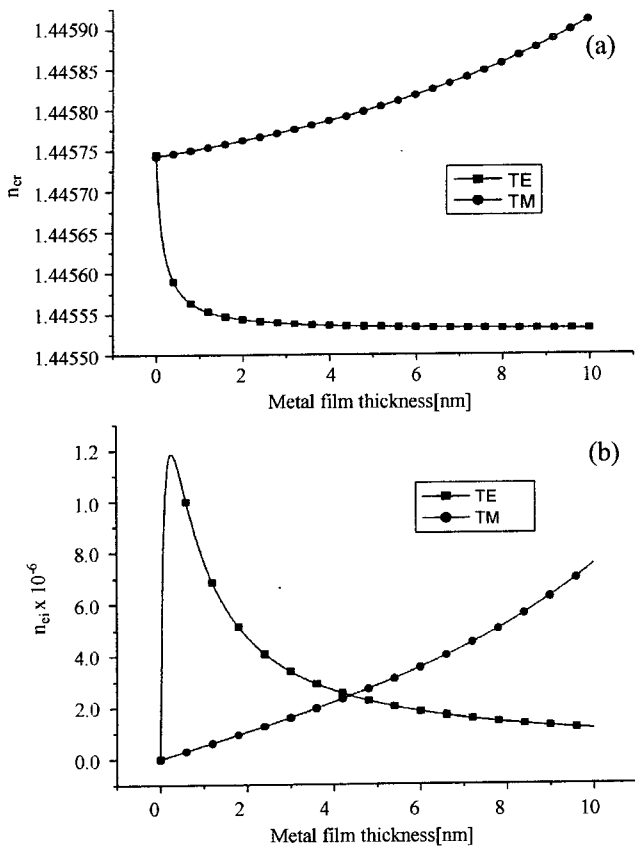


그림 5. 금속 두께에 따른 광섬유 모드의 유효굴절률 변화, (a) 유효굴절률의 실수부, (b) 유효굴절률의 허수부.

TE 모드의 에너지는 평면 도파로의 코어층으로 집중되는 반면에 TM 모드의 경우 표면 플라즈몬 효과에 의해 금속과 유전체에 경계에서 에너지가 국한되려는 광학적 특성 때문에 최상부층 내의 소산장의 세기는 더 증가한다. 금속 박막의 두께가 4 nm 이상이 되면 TE 모드는 거의 금속 박막을 투과하지 못하기 때문에 최상부층내의 소산장의 세기는 무시 할 수 있을 정도로 작아진다. 금속 박막의 두께가 10 nm 이상이 될 때는 TM 모드의 경우 금속층을 따라 진행하며 광학적으로 매우 큰 흡수 손실을 가지는 표면 플라즈몬 모드가 새로이 형성되기 때문에 그림 1의 결합기 구조에서 금속 박막이 두꺼울수록 TM 모드의 손실은 증가한다.

그림 5는 그림 4의 다층 평면도파로 구조에서 금속의 두께에 따른 TE 모드와 TM 모드의 유효굴절률의 변화를 나타낸 것이다. 유효굴절률의 허수부의 크기는 금속박막에 의한 흡수 손실의 크기를 나타낸다. 금속 박막이 두꺼워 짐에 따라 TM 모드의 유효굴절률의 실수부( $n_{er}$ )는 증가하는 반면에 그에 대응하는 TE 모드의 값은 감소하는 경향을 그림 5(a)는 보이고 있다. 금속 박막이 두꺼워 질수록 TE모드의 에너지는 그림 4(a)와 같이 코어 쪽으로 에너지가 집중되기 때문에 TE 모드의 횡방향(x 방향) 전파상수가 커지고 그 결과로 유효굴절률의 크기는 작아진다. 반면에 TM 모드는 그림 4(b)와 같이 금속이 있는 클래딩 쪽으로 에너지가 퍼지기 때문에 유효굴절률이 증가한다. 즉 유효굴절률의 크기는 모드의 에너지가 코어

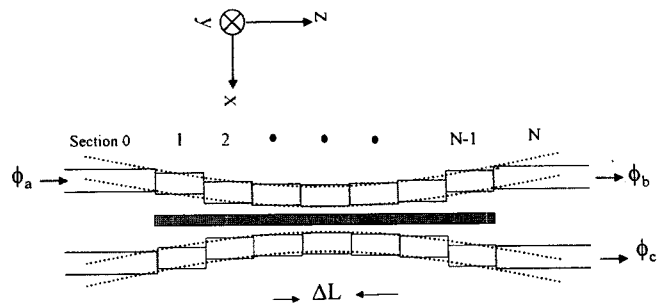


그림 6. 소자 해석을 위해 구분된 광섬유를 다수의 직선화된 광섬유 구조로 바꾼 소자 구조.

쪽으로 집중될수록 감소한다는 사실로부터 그림 4를 이해 할 수 있다.

한편 금속에 의한 흡수손실은 모드의 총 광전력(total optical power)중 금속층 내부의 광전력이 차지하는 비율에 의해 결정된다. 금속 박막이 0.2 nm에서 TE 모드는 손실이 최대가 됨을 그림 5(b)는 보인다. 그러나 금속막이 충분히 더 두꺼워지면 손실은 급격히 줄어든다. 이는 금속이 두꺼워짐에 따라 금속내부에 장(field)의 세기가 크게 줄어들기 때문이다. TM 모드는 금속박막의 두께가 증가하면 손실이 빠르게 증가한다. TM 모드는 금속층을 깊이 침투 할 수 있기 때문이다. 이상의 결과로부터 결합기 중간층에 놓인 금속층의 두께는 수 nm 부근이 적합한 것으로 여겨지며 금속이 두꺼워 지면 TE 모드 사이의 결합은 급격히 감소하는 반면 TM 모드 사이의 결합은 약간씩 증가 할 것으로 예상된다.

## 2.2. 결합 영역에서 전달 특성

제안된 결합기 구조에서 광섬유가 진행 방향으로 구부러져 있기 때문에 소자 해석을 위해 그림 6과 같이 구부러진 결합영역을 다수의 직선화 된 결합 구조로 나누어 해석하였다. 소자해석에서 총 결합길이는 5 mm로 설정하고 결합 영역을 2000개의 직선화된 결합 구조로 등가화 시켰다. 곡률 반경은 25 cm로 가정하였다. 직교모드이론으로 해석하기 위하여 두 광섬유 모드 사이에 소산장 결합이 발생하는 영역을 다층 도파로로 간주하였다. 그림 6에서 영역 0(section 0)과 영역 N(section N)에서는 소산장 결합이 발생하지 않을 정도로 충분히 두 광섬유 코어가 멀리 분리된 것으로 간주한다.

하나의 광섬유에 입력된 광은 첫 번째 결합 영역(section 1)을 만나게 되면 다층구조 도파로가 가지는 직교모드들(normal modes)을 여기 시킨다. 첫 번째 결합영역 시작점에서 장의 분포는 입력광( $\psi_0$ )으로부터 여기 된 각 직교모드들이 가지는 장(field)의 선형 조합으로 표시된다. TE 편광의 경우 대칭모드와 비대칭 모드가 존재하지만 TM 편광의 경우 금속두께가 수 nm 이상 될 때는 대칭 및 비대칭 모드 뿐만 아니라 금속층을 따라 진행하는 표면 플라즈몬 모드가 존재한다. 각 직교모드들은 각각의 위상 속도를 가지고 첫 번째 결합 영역 끝단까지 진행하며 이는 다시 두 번째 결합영역의 직교모드들에게 에너지를 전달한다. n번째 결합영역의 시작점에서 장의 분포( $\psi_n$ )와 끝점에서의 장의 분포( $\psi_n'$ )는 다음과 같이 표시된다.

$$\psi_n^j = \sum_{m=0}^M C_n^m \psi_n^m$$

$$\psi_n^o = \sum_{m=0}^M C_n^m \psi_n^m \exp(-j\beta_n^m \Delta L) \quad (1)$$

여기서  $\psi$ 는 TE 모드의 경우 전기장 분포, TM 모드의 경우 자기장 분포를 뜻한다. M은 결합 영역에서 최고차 직교모드의 차수이다.  $\beta_n^m$ 는 n번째 결합영역에서 m차 직교모드의 복소 전파상수를 의미한다.  $C_n^m$ 는 n-1번째 결합영역의 끝단에서 총 장(total field)이 n번째 결합영역의 m차 직교모드로 전달되

는 비율을 의미한다. 직교모드이론에 의하면  $C_n^m$ 는 다음과 같이 벡터 연산으로 표현된다.<sup>[5]</sup>

$$C_n^m = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (E_{n-1} \times H_n^m + E_n^m \times H_{n-1})}{2 \int_{-\infty}^{\infty} (E_n^m \times H_n^m) \cdot z dx} \quad (2)$$

여기서  $E_{n-1}$ 와  $H_{n-1}$ 은 n-1번째 결합 영역의 끝단에서 전기장(electric field)과 자기장(magnetic field) 분포를 의미한다.  $E_n^m$ 와  $H_n^m$ 은 n번째 결합 영역의 m차 직교 모드의 전기장과 자기장의 분포를 의미한다. TM 모드의 경우 전기장은 자기장의 세기를 먼저 구한 후 맥스웰 방정식으로 계산할 수 있다. TE

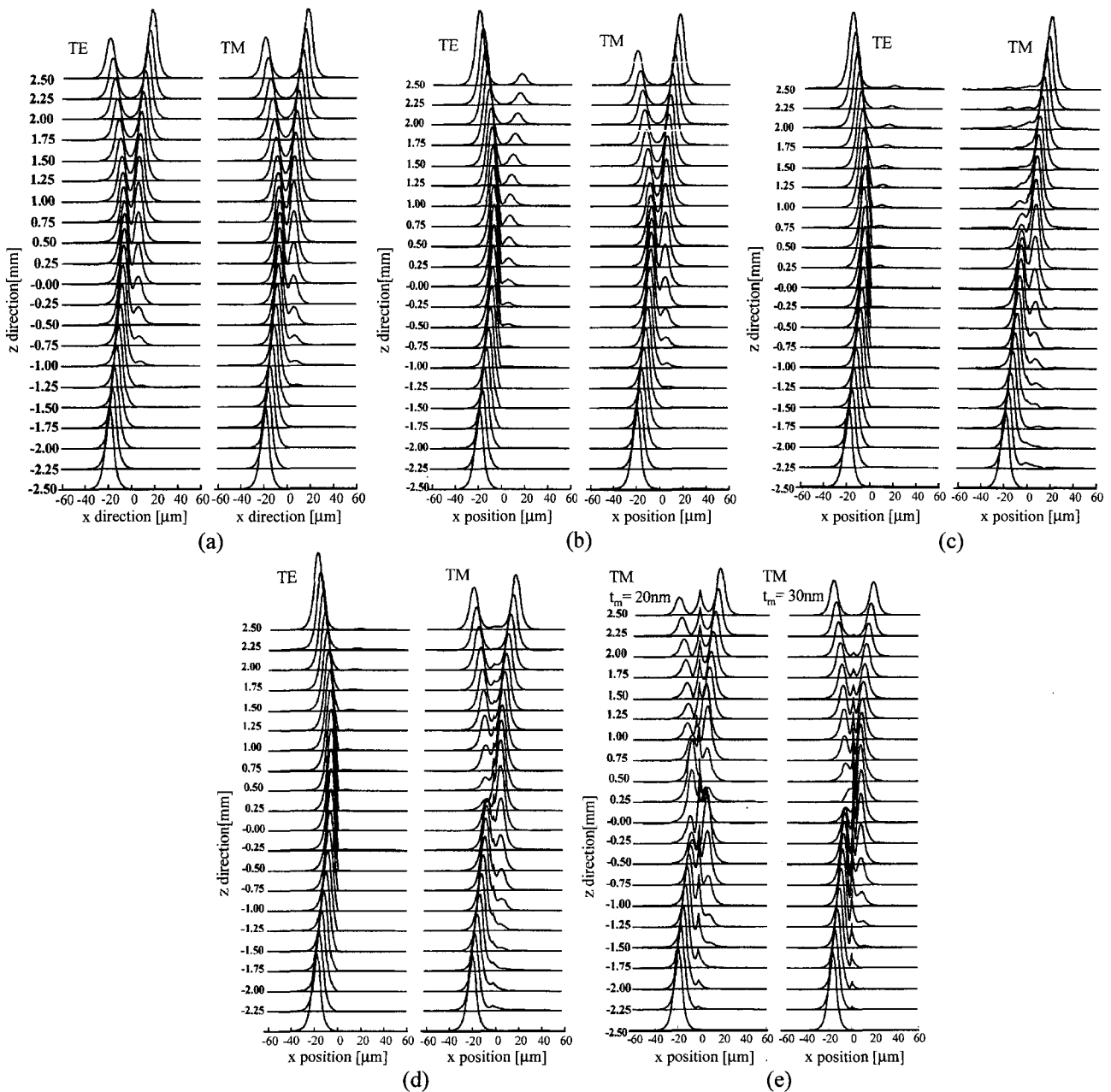


그림 7. 결합기 중간에 놓인 금속 박막층의 두께에 따른 광섬유 모드의 전송 과정,  $s=1.8 \mu\text{m}$ , (a) 금속층의 두께가 0 nm 인 경우, (b) 1 nm인 경우, (c) 5 nm인 경우, (d) 10 nm 인 경우, (e) 20 nm 및 30 nm인 경우, 입력광의 편광 상태는 그림 내에 표시되어 있음.

모드의 경우 이와 반대로 계산하면 된다. z는 방향 단위 벡터이다.

이와 같은 과정으로 입력단 영역(section 0)에서 하나의 광섬유로부터  $\psi_a$ 가 인가되었을 때 결합 영역에서 광의 전송 과정을 구할 수 있다. N-1번째 영역끝단에서 전달된 출력단(section N)의 두 광섬유의 기본 모드는 입력광과 세기는 다르지만 동일한 분포 모양을 가지며, 두 출력단에서 장의 분포  $\psi_b$ 와  $\psi_c$ 는 다음과 같이 주어진다.<sup>[4]</sup>

$$\begin{aligned} \psi_b &= C^b \psi_a \\ \psi_c &= C^c \psi_a \end{aligned} \quad (3)$$

여기서  $\psi_a'$ 는  $\psi_a$ 와 동일한 형태를 가지며 x방향의 위치만 c 광섬유로 이동한 것을 의미한다.  $C^b$ 와  $C^c$ 는 결합영역 끝단(section N-1)에서의 장이 각각 b 출력단과 c 출력단의 광섬유 모드로 전달되는 비율을 의미한다.

$$\begin{aligned} C^b &= \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (E_{N-1} \times H_b + E_b \times H_{N-1}) \cdot z dx}{2 \int_{-\infty}^{\infty} (E_b \times H_b) \cdot z dx} \\ C^c &= \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (E_{N-1} \times H_c + E_c \times H_{N-1}) \cdot z dx}{2 \int_{-\infty}^{\infty} (E_c \times H_c) \cdot z dx} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $E_b, E_c, H_b, H_c$ 는 두 출력섬유의 전기장과 자기장의 분포를 나타내며 각각의 광전력은 입력광의 광전력과 같도록 정규화 되어야 한다. 식 (3)과 (4)을 이용하여 입력단으로부터 출력단 사이의 광전력 전달비(optical power transfer ratio)를 구할 수 있다. 따라서 분리된 두 광섬유로 전달되는 광전력의 비율은 다음과 같이 정의 된다.

$$\begin{aligned} P_b/P_a &= |\psi_b/\psi_a|^2 = |C^b|^2 \\ P_c/P_a &= |\psi_c/\psi_a|^2 = |C^c|^2 \end{aligned} \quad (5)$$

지금까지의 이론을 바탕으로 금속박막층을 가지는 광섬유 결합기의 소자 구조에 따른 결합 특성을 분석하였다. 그림 7은 결합영역에서 TE 모드와 TM 모드의 진행과정을 구한 결과이다. 결합기 내에 금속이 존재하지 않을 때 TE 모드와 TM 모드의 전달 특성은 거의 동일함을 그림 7(a)로부터 알 수 있다. 즉 결합기의 편광 의존성이 거의 없기 때문이다. 금속층의 두께가 점점 증가함에 따라 TE 모드는 급격히 두 광섬유 사

이에 에너지 교환이 감소되는 반면에 TM 모드는 반대로 결합이 증가하여 에너지가 교환되는 속도가 증가함을 알 수 있다. 각 구조에서 금속 두께에 따른 소자의 결합비와 각 출력단의 편광 소멸비를 표 1에 제시하였다. 표 1에서  $PER_b$ 와  $PER_c$ 는 입력단에서 TE와 TM 편광의 각각 인가되었을 때 b 출력단과 c 출력단에서 광전력비, 즉 편광 소멸비를 나타낸다. 금속층의 두께가 5 nm일 때는 TE 모드는 인가된 광섬유로 계속 진행하지만 TM 모드는 완전히 반대편 광섬유로 에너지가 전달된다. 즉 TE와 TM 편광성분이 완전히 분리될 수 있음을 뜻한다. 이 경우 금속에 의한 흡수 손실은 TE 모드의 경우 0.2 dB 이하, TM 모드의 경우 0.3 dB 이하이고, 편광 소멸비는 두 출력단 모두 28 dB 이상 만족한다. 이러한 특성을 가지면 이 결합기는 편광 분리기 뿐 만 아니라 편광기로도 이용할 수 있다. b 출력단을 이용하면 TE 통과 편광기, c 출력단을 이용하면 TM 통과 편광기로 이용 가능하다. 금속 두께나 두 광섬유 코어사이의 간격을 조절하여 편광 소멸비를 더 높게 얻는 것도 이론적으로 가능하다. 금속층의 두께가 10 nm 이상이 되면 TM 모드의 경우 금속층에 갇혀서 진행하는 표면 플라즈몬 모드로 에너지가 결합되어 손실이 크게 발생한다. 그림 7(e)를 통해 알 수 있듯이 금속의 두께가 20 nm인 경우 금속 층을 따라 플라즈몬 모드가 두 광섬유가 충분히 분리된 영역( $z = 2.5$  mm)까지 진행함을 보인다. 금속층의 두께가 30 nm인 경우 플라즈몬 모드는 매우 큰 손실을 가지기 때문에 결합

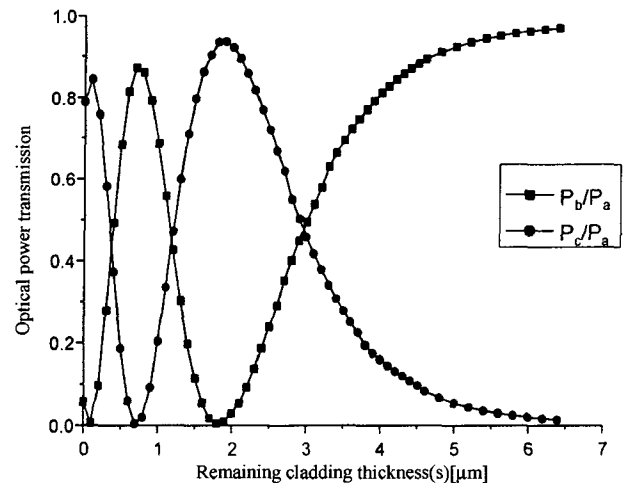


그림 8. 연마 후 남은 클래딩의 두께(s)에 따른 소자의 전달 특성,  $t_m = 5$  nm.

표 1. 금속 박막의 두께에 따른 결합기의 성능 변화

금속 박막 두께 [nm]	TE		TM		$PER_b$ [dB]	$PER_c$ [dB]	참조 그림
	$P_b/P_a$	$P_c/P_a$	$P_b/P_a$	$P_c/P_a$			
0	0.26204	0.73102	0.25314	0.73783	0.15	0.04	7(a)
1	0.90830	0.02040	0.18951	0.78872	6.805	15.87	7(b)
5	0.95917	0.00103	0.00127	0.93693	28.30	29.58	7(c)
10	0.98904	0.00024	0.30611	0.52772	4.381	33.42	7(d)
20			0.03776	0.31580			7(e)
30			0.19281	0.17089			7(e)

영역 끝단에서 완전히 소멸됨을 알 수 있다.

그림 8는 결합영역에서 등가화된 평면도파로의 클래딩 두께(s)에 따른 TM 편광 입력에 대한 결합 특성을 분석한 것이다. 여기서 연마된 두 광섬유의 남은 클래딩 두께는 동일한 것으로 간주한다. TM 모드가 처음 입력된 광섬유의 반대편 광섬유로 거의 전달 될 수 있는 클래딩 두께(s)가 두 개 존재함을 보이고 있다. 클래딩 두께가 6 μm 이상 되면 두 광섬유 사이에 에너지 교환은 거의 발생하지 않는다.

이상의 계산 결과로부터 금속의 두께와 결합 간격을 적절하게 조절하여 TM 모드의 광에너지는 처음 입력된 광섬유로부터 반대편 광섬유로 전달되고 TE 모드의 광에너지는 원래 광섬유 경로를 유지될 수 있음을 알 수 있다. 소자 구조를 적절하게 조절하면 이 결합기를 편광 분리/합성기 및 편광기로 이용 할 수 있음을 뜻한다.

### III. 결 론

본 논문에서는 두 개의 측면 연마된 광섬유 결합기의 중간에 금속층이 있는 소자 구조의 동작 특성을 규명하고 편광 분리로 동작할 수 있음을 보였다. 광섬유를 등가적인 평면도파로로 바꾸고 직교모드 이론을 이용하여 소자의 전달 특성을 구하는 과정을 소개하였다. 금속층의 두께는 두 도파로 사이에 에너지 교환 속도, 편광소멸비 및 손실에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 금속층의 두께가 증가함에 따라 TE 편광은 두 광섬유 사이에서 에너지 교환이 급속히 약해지는 반면 TM 편광은 오히려 두 광섬유 사이에서 에너지 교환 속도가 빨라짐을 보였다. 높은 편광 분리 특성과 낮은 손실을 가지는 편광 분리기의 설계 방향을 제시하였다. 이론적 분석 결과는 TE 모드의 손실은 0.2 dB 이하 TM 모드의 손실은 0.3 dB, 그리고 편광 소멸비는 28 dB 이상 달성할 수 있음을 보였다. 원하는 두께만 남기고 광섬유를 연마하는 기술과 연마된 광섬유 클래딩 위에 올려지는 금속 박막의 두께를 정확히 제어하는 것이 편광 분리기로서의 성능에 매우 중요할 것으로 여겨진다. 실제 소자 제작시 알루미늄(Al)이나 은(Ag)은 유리 광섬유와 접착성이 양호하기 때문에 결합기 중간에 놓인 금속층으로 이용가능하다.

### 참고문헌

- [1] M. S. Yataki, D. N. Payne, and M. P. Payne, "All-fiber polarization beamsplitter," *Electron. Lett.*, Vol. 21, No. 6, pp. 249-251, 1985.
- [2] T. Bricheno and V. Baker, "All-fiber polarization splitter/combiner," *Electron. Lett.*, Vol. 21, No. 6, pp. 251-252, 1985.
- [3] 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 Light-wave Tech.*, vol. 8, no. 4, pp. 538-543, 1990.
- [4] 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 Light-wave Tech.*, vol. 8, no.2, pp. 143-151, 1990.
- [5] C. H. Chen and Likarn 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.
- [6] 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.
- [7] S. X. She, "Propagation loss in metal-clad waveguide and weakly absorptive waveguides by a perturbation method," *Optics Lett.*, vol. 15, no. 16, pp. 900-902, 1990.
- [8] 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 multi-mode metal-clad waveguide," *Optics Comm.*, vol. 180, pp. 37-42, 2000.
- [9] E. K. Sharma and M. P. Singh, "Multilayer waveguide devices with absorbing layers: an exact analysis," *J. of Optical Comm.*, vol. 14, no. 5, pp. 134-137, 1993.
- [10] 김광택, 황중호, 이준욱, 김상우, 강신원, 서동일, 송재원, "측면 연마된 광섬유와 금속박막이 포함된 평면도파로 사이의 광결합," *한국광학회지* 12권, 5호, pp. 406-413, 2001.
- [11] K. T. Kim and J. W. Song, "Investigation of thermo-optically tunable fiber-to-planar waveguide coupler," *Optics Comm.* vol. 205, pp. 113-121, 2002.

## **Polarization splitting characteristics of the side-polished fiber coupler with a thin metal interlayer**

Kwang Taek Kim<sup>†</sup> and Hwang Boo Sung

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

*<sup>†</sup>E-mail: ktkim@honam.ac.kr*

(Received March 26, 2002 ; revised manuscript received May 6, 2002)

We report theoretical investigation on the polarization selective coupling characteristics of a side-polished fiber directional coupler with a thin metal interlayer. Based on normal mode theory the coupling properties of the device under various structural conditions are analyzed. It is shown that the coupling strength between TE modes weakens rapidly with increase of metal interlayer thickness, whereas that between TM modes becomes stronger. The design conditions of the polarization splitter using the coupler to achieve high extinction ratio and low insertion loss are presented.

*Classification code* : FO.010.