《연구논문》 Hankook Kwanghak Hoeji, Volume 10, Number 3, June 1999
(Journal of the Optical Society of Korea - Korean Edition)

측면 연마된 단일모드 광섬유와 열 광학 다중모드 평면도파로를 이용한 능동형 광 결합기

김광택 · 유호종 · 김성국 · 이소영 · 송재원 · 이상재
경북대학교 전자전기공학부

김시홍 · 강신원
경북대학교 센서공학과

(1998년 11월 30일 받음, 1999년 5월 6일 수정본 받음)

본 논문에서는 측면이 연마된 단일모드 광섬유와 폴리머 다중 평면도파로가 결합했을 때 발생하는 모드 결합현상을 이용한 능동형 광결합기를 연구하였다. 제안된 소자는 파장가변 광필터나 광변조기로 이용할 수 있을 뿐만 아니라, 광도파로 물질의 굴절률, 복굴절, 전기광학 계수, 열광학 계수 등을 측정하는 도구로 응용할 수 있다. BPM으로 최적화된 결합기를 설계하였고, 열광학 폴리머를 능동 평면 도파로층으로 이용하여 결합기를 제작하였다. 제작된 소자는 −0.5dB 이하 손실, 공진파장에서 −13dB 소멸비. 그리고 열광학 효과에 의해 −1.5 nm/°C 정도의 파장 가변성을 보였다. 본 연구의 결과로 볼 때 열광학 능동형 광결합기는 광변조기, 파장가변 광필터, 광센서 등으로 이용될 가능성이 높다.

I. 서 론

광통신, 광 신호처리, 광센서 등에 필요한 광학소자를 반도체나 강유전체, 혹은 기능성 유기고분자 등을 이용하여 집적광학형으로 구현하는 방법과 광섬유를 이용하여 구현하는 방법이 있다. 광섬유형 소자는 패키징에 의한 삽입손실, 소자 제작공정, 기계적 신뢰성 등에서 집적광학형 소자보다 유리한 측면이 있다. 대표적인 광섬유형 소자로 광섬유 브래그 회절격자를 이용한 광필터[1,2]나, 두 개의 광섬유를 용융, 식각, 연마 등의 방법으로 코어간의 간격을 매우 근접시킬 때 발생하는 모드결합을 이용한 광 전력분배기[3-5] 등의 소자들이 잘 알려져 있다. 한편 광섬유를 이용한 능동형 소자에 대한 연구도 활발하게 진행되어 왔다. 광섬유형 능동소자를 구현하는 방법으로는 한쪽 측면이 코어 가까이 연마된 단일모드 광섬유에 다중모드를 가지는 $LiNbO_3$나 전기광학 폴리머층을 접합시킬 때 일어나는 모드결합 현상을 많이 이용한다. 이러한 방법은 광변조기나 광 필터 제작에 응용이 될 수 있다.[6-9] 이러한 구조를 가지는 광섬유형 소자는 평면도파로층의 굴절률이 제한받지 않기 때문에 다양한 물질이 평면도파로층으로 이용될 수 있으며, 광섬유 코어층의 광학적 교란이 크지 않으므로 광손실이 매우 작다는 장점을 가지고 있다. 광섬유와 평면도파로 사이에 효과적인 모드결합이 일어나기 위해서는 광섬유의 소산장(evanescent field)이 평면도파로까지 분포해야 하며 모드간 위상정합 조건을 만족해야한다. 즉 광섬유 모드와 다중 평면도파로의 최고차모드가 동일한 유효굴절률을 가질 때 효과적인 광결합이 일어난다. 이러한 현상은 공진현상과 유사하기 때문에 광결합이 가장 크게 일으키는 파장을 "공진 파장"이라고 정의하기로 한다. 지금까지 주로 전기광학 효과를 가지는 평면도파로층을 이용하여 광섬유형 광변조기나 파장가변 필터로서 이용하려는 연구가 많이 발표되었다.

본 논문은 폴리머의 열광학 효과를 이용한 능동형 광결합기에 대한 연구이다. 폴리머는 열광학 효과가 무기물에 비해 매우 크기 때문에 작은 열에너지로 높은 굴절률 변화를 일으킬 수 있다. 이러한 열광학 효과를 이용한 능동형 광결합기는 아직 보고되지 않았다. II장에서는 측면이 연마된 광섬유와 다중모드를 가지는 평면도파로층을 이용한 광결합기의 동작 원리를 결합모드 이론으로 해석하고, 평면도파로의 주요변수(굴절률, 두께)들이 동작 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 그리고 이러한 형태의 결합기를 이용하여 임의의 광도파로 물질의 굴절률, 복굴절, 전기광학 계수, 열광학 계수 등을 측정하는 방법을 소개하였다. III장에서는 상용화된 BPM(beam propagation method)프로그램을 사용하여 광섬유 모드와 평면도파로 모드사이에 형성되는 에너지 교환현상을 도식적으로 설명하고, 파장에 따른 광 여과특성 및 평면도파로 코어층의 굴절률이 변할 때 광 세기 변조특성을 전산모의 하였다. 또한 효과적인 광결합을 위한 광섬유 코어와 평면도파로 코어사이의 간격, 광섬유의 곡률반경 등을 설계하였다. IV장에서는 열광학 폴리머를 평면도파로층으로 이용한 광결합기의 제조 공정을 소개하였다. V장에서는 제작된 소자의 광 여과특성, 열에 의한 공진파장의 이동, 그리고 광의 강도변조현상을 광 스펙트럼 분석기로 측정하고 그 결과를 분석하였다.

II. 동작원리

본 논문에서 연구한 능동형 광섬유 결합기의 구조는 그림 1과 같이 측면이 코어 가까이 연마된 광섬유와 다중모드 평면도파로가 결합된 구조이다. 이 소자는 광섬유의 소산장이 평면도파로까지 분포할 때 일어나는 모드결합 현상을 이용한 것

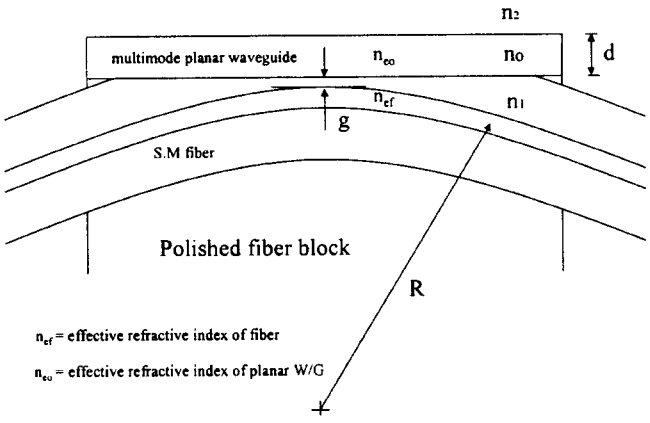

그림 1. 간략화된 광섬유-평면도파로 결합기 구조.

이다.

근접된 광섬유와 평면도파로 사이에 발생하는 광 에너지 교환 현상은 결합모드이론을 도입하여 정성적으로 설명할 수 있으며, 다음과 같은 결합모드 방정식이 주어진다.[10]

$$\frac{\partial}{\partial z}A_f(z) = -i_k\, A_{wg}(z)\ exp(i\Delta\beta z), \tag{1a}$$

$$\frac{\partial}{\partial z}A_{wg}(z) = -i^*_k\, A_f(z)\ exp(i\Delta\beta z)\alpha A_{wg}(z) \tag{1b}$$

여기서 A_f와 A_{wg}는 광섬유와 평면도파로의 모드의 크기를 각각 나타내고, $\Delta\beta$는 광섬유 모드와 평면도파로 모드 사이의 전파상수차이, k는 두 모드간의 결합계수이다. 그리고 α는 평면도파로의 손실로서 매질에 의한 광의 흡수와 측방향으로의 광의 퍼짐에 의한 손실을 포함한 값이다. 식 (4)의 해는 초기조건 $A_f(0)=1$, 그리고 $A_{wg}(0)=0$을 대입하면 다음과 같이 주어진다.

$$A_f(z) = \frac{exp[-z/2)(\alpha - i\Delta\beta)][(\alpha - i\Delta\beta)sinh(zK_r/2) + K_r cosh(zK_r/2)]}{K_r} \tag{2a}$$

$$A_{wg(z)} = \frac{-2i\,exp[-z/2)(\alpha - i\Delta\beta)][(\alpha - i\Delta\beta)k^* sinh(zK_r/2)]}{K_r} \tag{2b}$$

여기서 $K_r=[(\alpha\text{-}i\Delta\beta)^2 - 4\,|\,\kappa\,|^2]^{1/2}$, 그리고 모드의 광전력은 모드크기의 절대치를 제곱한 것과 같다. 결합된 두 도파로 사이에 100% 광에너지 교환이 발생하기 위해선 모드간의 전파상수차이($\Delta\beta$)가 없어야 한다. 식(2)는 광섬유에서 진행하던 모드는 평면도파로의 여러모드중 자신과 일치하는 유효굴절률을 가진 모드에게 광 에너지를 전달함을 의미한다.

단일모드 광섬유의 코어층과 클래딩층의 굴절률 차이는 0.1~1% 정도로서 평면도파로에 비해 매우 작으며, 이것의 유효굴절률은 클래딩층보다 크고 코어보다 작은 범위안에 있다. 따라서 광섬유의 유효굴절률은 인가되는 광의 파장에 관계없이 거의 일정하다고 볼 수 있다. 하지만 광섬유와 결합된 평면도파로의 경우 코어층의 굴절률을 클래딩층보다 훨씬 크게 하면 모드의 유효굴절률은 파장에 따라 민감하게 변하게 된다. 이러한 원리를 이용하면 그림 1과 같은 결합기는 파장 선택성이 높은 광필터로 동작한다. 다중모드를 가지는 평면도파로의 m번째 모드의 유효 굴절률을 찾기 위한 고유치 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{2\pi d}{\lambda}(n_o - n_{eo})^{1/2} = m\pi\ \psi_1 + \psi_2 \tag{3}$$

여기서 m은 모드의 차수를 나타내는 정수, λ는 광의 파장, d는 평면도파로의 코어층 두께, n_o는 평면도파로의 코어 굴절률, 그리고 n_{eo}는 m번째 고차모드의 유효 굴절률이다. ψ_1과 ψ_2는 평면도파로의 코어층과 클래딩층의 경계에서 발생하는 모드의 위상천이로서 다음과 같이 주어진다.

$$\psi_i(i = 1 \text{ or } 2) = tan^{-1}\frac{(n_{eo}^2 - n_i^2)^{1/2}}{(n_o^2 - n_{eo}^2)^{1/2}} \tag{4}$$

여기서 TE mode에 대해선 $\zeta = 1$, TM모드에 대해선 $\zeta = n_0^2/n_i^2$을 대입하면 된다. n_i는 평면도파로 클래딩층들의 굴절률로서 n_1은 광섬유 클래딩층의 굴절률인 동시에 평면도파로 하부 클래딩층의 굴절률이다. n_2는 평면도파로 상부 클래딩층의 굴절률이다. 평면 도파로 상부 클래딩층은 광섬유 클래딩층 보다 같거나 낮은 굴절률을 가져야 모드 결합이 일어날 수 있다. 평면도파로의 유효굴절률(n_{eo})과 광섬유의 유효굴절률(n_{ef})이 일치할 때 가장 효과적인 광결합이 두 광경로 사이에 일어난다. 평면도파로의 유효 굴절률은 n_0와 n_1 사이에 존재한다. 식(3)과 (4)로부터 n_0와 n_1의 차이가 클수록 평면도파로의 유효 굴절률이 파장(λ)에 따라 민감하게 변한다. 공진 파장은 평면도파로 코어층의 두께조절로서 가능하다. 평면도파로 상부 클래딩층을 광섬유 클래딩층과 같은 물질을 사용하면 편광에 따른 공진파장의 차이가 작아진다. 광섬유 유효굴절률(n_{ef})과 평면도파로 클래딩층의 굴절률이 비슷하기 때문에 $n_{ef} \sim n_i$을 만족하며, 공진파장(λ_0)에서 $n_{eo} = n_{ef}$를 만족한다. 이러한 구조에서는 평면도파로 경계에서 발생하는 모드의 위상변화(ψ_i)는 매우 작다. 이 때문에 식(3)은 아래와 같이 간단해진다.

$$2d(n_o^2 - n_{ef}^2)^{1/2} = m\lambda_0 \tag{5}$$

평면도파로의 굴절률을 열광학 효과나 전기광학 효과를 이용하여 제어할 수 있다면 식(5)로부터 λ_0를 이동시킬 수 있다. 식(5)로부터 평면도파로 코어층의 굴절률의 변화에 따른 공진파장의 이동은 다음과 같이 주어진다.

$$\frac{\partial\lambda_0}{\partial n_0} = \frac{2d}{m\sqrt{1 - \frac{n_{ef}^2}{n_o^2}}} \tag{6}$$

주어진 평면도파로에서 m차 모드에 공진하는 파장을 λ_0, m + 1차 모드에 공진하는 파장을 각각 λ_1로 정의하면 $m\lambda_0 = (m+1)\lambda_1$을 만족하며 이를 식(5)에 대입하면 근접한 공진파장 사이의 간격($\Delta\lambda = \lambda_0 - \lambda_1$)은 다음과 같다.

$$\Delta\lambda = \frac{2d\sqrt{(n_0^2 - n_{ef}^2)}}{m(m+1)} \tag{7}$$

근접한 두 개의 공진파장간격($\Delta\lambda$)과 모드차수사이의 관계는 다음과 같이 쉽게 찾을 수 있다. 여기서 평면도파로층의 물질 고유의 분산은 고려하지 않았다.

$$m \cong \frac{\lambda_1}{\Delta\lambda} \tag{8}$$

두 개의 공진파장을 실험으로 쉽게 찾을 수 있기 때문에 각 공진을 일으키는 모드의 차수는 소자의 구조와 관계없이 구할 수 있음을 식(8)은 의미하고 있다. 이상을 종합해 볼 때 평면도파로 코어층의 두께만 주어지면 그 물질의 굴절률은 물론이고, 편광된 입력으로부터 식(5)를 이용하면 복굴절을 구할 수 있다. 또한 평면도파로 코어층의 전기광학효과나 열광학효과에 기인한 공진파장의 이동거리로부터 평면도파로 물질의 전기광학 및 열광학 계수를 얻을 수 있다. 기능성 광학 폴리머의 특성을 찾는 방법으로 광섬유 클래딩층과 굴절률이 비슷한 SiO_2 기판위에 평면도파로층을 형성하고, 이를 측면 연마된 광섬유에 밀착시켜 광 결합기로 만든 후 스펙트럼을 측정하는 기법이 도입될 수 있다.

III. BPM을 이용한 전산모의

광섬유가 휘어져 있기 때문에 결합모드 방정식에 가장 중요한 결합계수와 결합길이를 간단하게 정의하기는 어렵다. 본 논문에서는 평면도파로와 광섬유가 결합된 구조에서 모드간의 에너지 교환현상을 상용화된 BPM을 이용하여 전산모의 하였다. 이를 이용하여 능동형 광결합기의 파장에 따른 여과 특성, 굴절률의 변화에 따른 광의 세기 변조를 전산모의 하였다. 전산모의에 사용된 파라메타를 표 1에 제시하였다.

모드결합이 일어나는 파장, 즉 공진파장은 평면도파로 구조에 의해서 결정된다. 표 1에 사용된 수치와 식(3)을 사용하여 파장 1.55 μm에서 공진하는 다중모드 평면도파로의 구조를 결정하기 위하여 코어층의 두께를 함수로 한 분산곡선을 구하였다. 그 결과를 그림 2에 제시하였다. 평면도파로의 상부클래딩층을 공기로 가정하였기 때문에 그림 2에서 편광상태(TE 혹은 TM)에 따라 같은 차수의 모드에서 유효굴절의 차이가 약간 발생한다.

그림 2에서 파장 1.55 μm에서 공진을 만족시키는 코어층의 두께는 여러 개가 존재 할 수 있다. 역으로 일정한 두께에서 공진을 일으키는 파장이 여러 개가 존재 할 수도 있다. 예를 들어 평면도파로 코어층의 두께가 8.75 μm일 때 7차 모드의 유효굴절률과 광섬유의 유효굴절률이 일치한다. 이 수치를

표 1. 전산모의에 사용된 각종변수

항 목	수 치	비고
파 장	1.2~1.6 μm	
광 섬유 코어 지름	8 μm	
광 섬유 코어 굴절률	1.461	
광 섬유 클래딩 굴절률	1.457	평면도파로의 하부클래딩 굴절률
광섬유의 유효굴절률	1.459	
평면도파로 코어굴절률	1.60	
평면도파로 상부클래딩 굴절률	1.0	

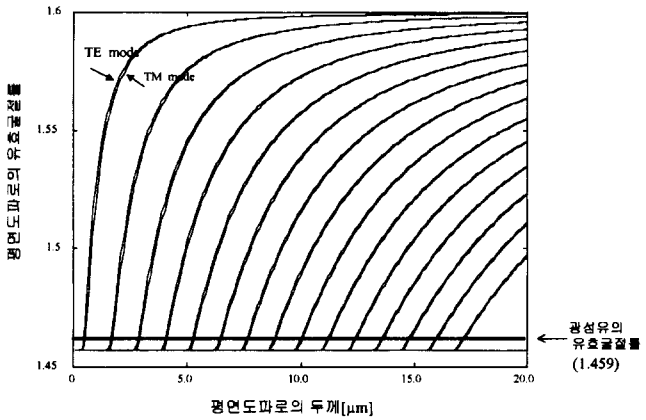

그림 2. 평면도파로 코어층의 두께를 함수로한 모드 분산곡선.

BPM프로그램에 입력하여 TE편광 입력에 대한 모드간 결합이 어떻게 발생하는지 확인하였다. 결합기 구조에서 구부린 광섬유의 곡률반경과 측면 연마된 클래딩층의 두께는 결합모드 방정식에 이용되는 모드간의 실질적 결합길이와 결합계수에 영향을 미친다. BPM 전산모의를 통해 최적의 결합이 일어나는 소자구조는 곡률반경은 10 cm, 평면도파로와 광섬유 코어사이의 간격은 3~4 μm가 적당하였다. 그림 3에 평면도파로의 상부클래딩을 공기로 설정하여 1.55 μm 파장을 가지는 레이저광을 광섬유에 입력했을 때, 광이 진행하면서 유효굴절률이 일치하는 평면도파로의 7차 모드에 광전력을 전달하는 과정이 나타나있다.

그림 3으로부터 알 수 있듯이 공진파장에서 실질적으로 광섬유로부터 평면도파로 방향으로 광전력의 전달은 두 광도파로가 가장 근접한 2 mm 내에서 발생하였다. 그림 4는 입력되는 광이 백색광원이라는 가정하에 파장에 따른 광여과 특성을 보여 주고 있다. 7차모드의 공진파장은 1.55 μm이였고, 1.37 μm에서 발생한 공진은 8차 모드이다. 만일 두께를 더 증가시키면 공진 모드간의 파장간격은 점점 더 좁아진다.

평면도파로의 굴절률을 열광학 효과를 이용하여 변화시키면 모드간 결합이 일어나는 파장(공진파장)이 이동하며 입력광의 파장이 1.55 μm로 고정되어 있다면 빛의 세기 변조가 일어난

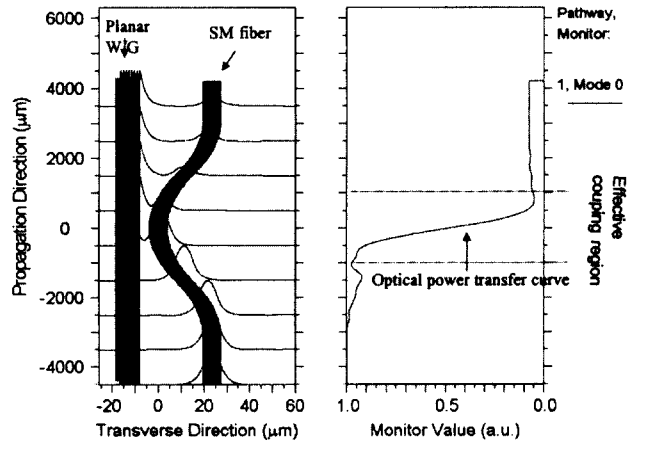

그림 3. 설계된 광결합기에 파장1.55 μm 광원을 입력했을 때 모드간의 광결합 현상.

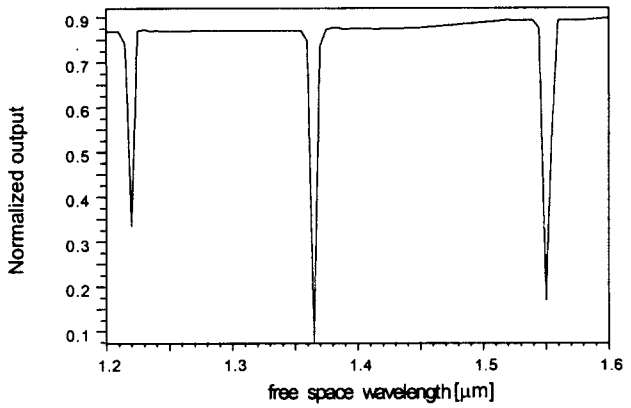

그림 4. 설계된 광결합기의 여과특성을 전산모의한 결과.

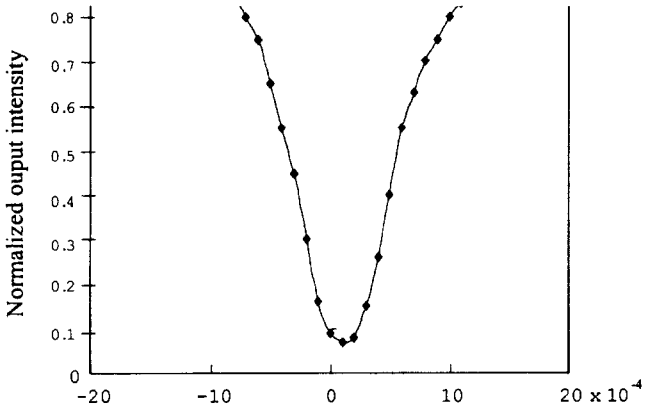

그림 5. 평면도파로 코어층의 굴절률을 변화시킬 때 일으키는 출력광의 세기변조.

다. 평면도파로 코어층의 굴절률이 1.60으로부터 조금씩 변할 때 출력되는 광의 세기가 어떻게 변하는지 전산모의 하여 그 결과를 그림 5에 제시하였다. 이 결과로부터 굴절률을 0.001 정도 변화시킬 수 있다면 이론적으로 100% 광의 세기 변조가 가능함을 알 수 있다.

IV. 시험용 소자제작

앞서 이론적 연구를 실험으로 검정하기 위하여 광결합기를 제작하였다. 평면도파로의 굴절률을 제어하는 방법으로 폴리머의 열광학 효과를 이용하였다. 일반적으로 폴리머 계통의 물질은 온도가 증가할 때 굴절률이 감소하는 경향을 가지고 있으며, 다른 무기물 물질에 비해 열광학 효과가 매우 커서 작은 열로 큰 굴절률 변화를 일으킬 수 있다. 이 효과를 능동형 광필터에 이용하면 넓은 파장 조절범위를 얻을 수 있다. 열광학 효과가 우수한 폴리머로 알려진 PMMA와 polyurethane (PUR)의 열광학 계수는 각각 $-1.2\times10^{-4}{}^{\circ}C^{-1}$와 $-3.3\times10^{-4}{}^{\circ}C^{-1}$로서 앞서 전산모의 결과에 의하면 10°C 정도의 온도조절로서 100% 광세기 변조가 가능하다. 이들을 이용한 집적광학형 열광학 변조기가 보고된 바 있다.[11] 하지만 이들 물질은 굴절률이 낮고 화학적 내성이 약하며 금속과의 접착성이 좋지 않은 단점을 지니고 있었기 때문에 본 논문에서는 사용하지 않았다. 능동형 광학소자에 사용될 평면도파로층은 광학적 투명성이 좋고 화학적 내성, 그리고 금속과의 접착성이 좋아야 한다. 본 논문에서는 두꺼운 평면도파로 제조가 비교적 쉽고 굴절률도 비교적 높은 AZ4562 양성 포토레지스터를 이용하였다. 이물질의 굴절률은 1.55 μm에서 1.60이다. 전산 모의에서 설계된 소자를 그림 6과 같은 과정으로 제작하였다.

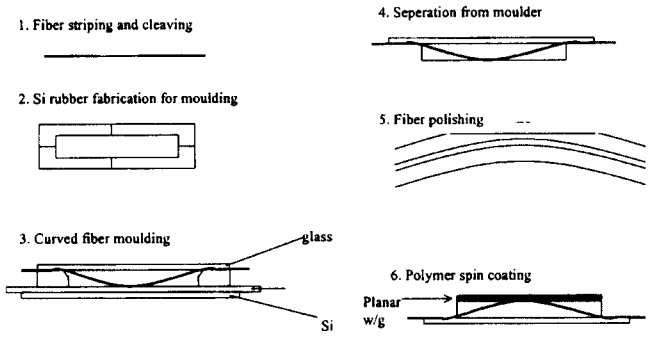

그림 6. 능동형 광결합기 제작과정.

광섬유의 길이를 약 40 cm 자른후 중간부분만 광섬유의 피복을 벗겨낸다. 두께가 2.5 mm인 실리콘 고무판에 1×4 cm^2를 파내어 이를 주물로 이용한다. 실리콘 고무판에 광섬유를 구부린 상태로 경화수지와 함께 넣어 장시간 경화시킨다. 실리콘 고무판은 경화수지와 접착하지 않으므로 분리하기가 용이하다. 통상적으로 수지가 완전히 경화되는데 5시간 정도 필요하다. 경화가 끝나면 실리콘 고무판을 분리한 후 태평양 연마사로부터 구입한 연마필름을 이용하여 연마하였다. 광섬유의 클래딩이 4 μm이하로 남을 때까지 연마를 통해 제거해야 한다. 이를 구현하는 방법으로 연마중간에 HeNe 레이저로 광섬유에 빛을 입사하여 산란된 빛이 보일 때까지 12 μm 연마필름으로 연마하고, 그 후부터는 3 μm, 1 μm, 0.3 μm 순으로 연마를 마무리 한다. 연마된 표면위에 열광학 폴리머 평면도파로를 스핀코팅한다. 본 논문에서는 AZ4562를 1000 rpm으로 스핀 코팅한 후 건조하였다.

V. 특성 측정

본 논문에서 제작된 소자의 특성을 그림 7과 같은 광학장치를 이용하여 측정하였다. 측정에 사용된 백색광원과 스펙트럼 분석기는 안리추사의 모델 MG922A와 MS96A이였다. 백색광원의 출력을 스펙트럼 분석기에 입력해서 해상도 5 nm로 측정해본 결과 측정범위 1.2~1.6 μm 파장 범위에서 광전력이 -60 dBm으로서 균일한 전력분포를 보여 주었지만 스펙트럼 분석기의 최소 측정레벨(-80 dBm)에서는 여유가 많이 없었다. 입력광의 전력이 충분하다면 해상도를 더 높여서 측정할 수 있다.

동일한 광원에 대하여 제작된 광결합기를 통과한 빛과 같은 길이의 단순한 광섬유를 통과한 빛의 상대적인 광전력비로 광손실을 측정하였다. 제작된 소자들의 입출력간 광손실은 대부분 0.5 dB 이하였다. 광결합기 소자는 편광의존성을 가지고 있으므로 백색광원의 출력을 배율 10인 대물렌즈로 평행광을 만

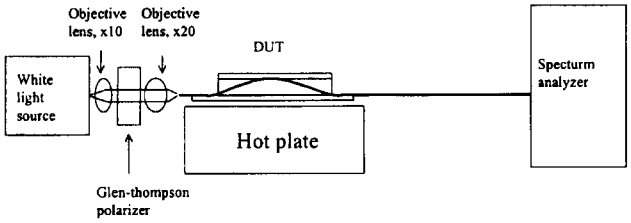

그림 7. 제작된 능동형 광결합기의 특성을 측정하기 위한 측정장치도.

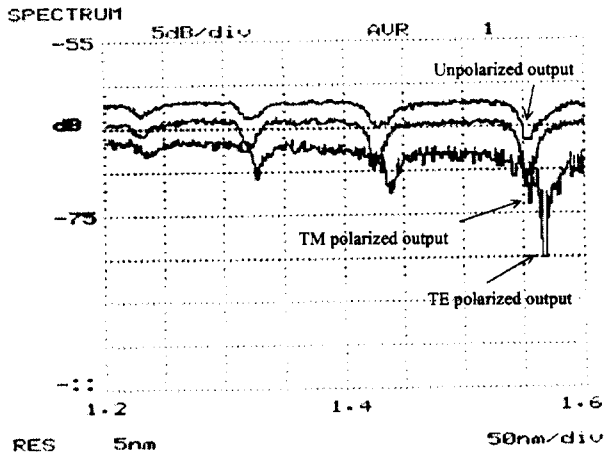

그림 8. 편광에 따른 광 여과특성.

든 후 그랜톰슨 편광기로 TE혹은 TM으로 편광 시킨다. 편광된 광을 배율 20인 대물렌즈로 집속시켜 광섬유에 결합시킬 때 가장 큰 출력광이 검출되었다. 온도 21°C에서 무편광 입력, TE와 TM 편광된 입력에 대하여 스펙트럼 분석기로 측정한 여과특성이 그림 8에 제시되어 있다.

이론적 예측과 마찬가지로 TM 편광된 출력의 공진파장이 TE 편광된 공진파장보다 짧다. 그 간격은 정확히 측정하기 힘들었다. 공진 파장에서 TE는 −13 dB, TM은 −10 dB로 여과되었고, −3 dB 대역폭은 20 nm 부근이였다. 파장 1.2 μm에서 1.6 μm까지 4곳에서 공진이 발생하였으며 파장이 긴 쪽에서 큰 에너지 교환이 일어났다. 그 이유는 파장이 짧을수록 광섬유 모드가 코어에 더 많이 집중되어 결합 계수가 더 작아 지기 때문으로 분석된다. 이 실험 결과를 앞서 식(3)에 대입한 결과 TE편광 입력시 1.44 μm에 공진하는 모드는 12차, 1.57 μm에서 공진한 모드는 11차 모드이며 AZ4562 두께는 14.5 μm 정도 되는 것으로 분석되었다. 그림 8에서 TE와 TM 편광된 출력의 기준치가 다른 이유는 광원의 특성에 기인하는 것이다.

제작된 소자의 공진파장이 폴리머층의 열광학 효과에 의해 이동하는 현상을 확인하였다. 폴리머의 온도는 hot plate를 이용하여 제어하였다. TE 편광된 백색광을 광결합기에 입력하여 온도의 변화에 따른 여과특성을 측정하여 그림 9에 제시하였다.

그림 9로부터 온도가 올라감에 따라 공진파장이 더 짧아지는 것을 알 수 있다. 이 결과는 온도가 증가함에 따라 평면도파로의 코어층의 굴절률이 감소하여 식(3)이 나타내는 물리적 현상과 일치한다. 단위 온도 변화에 공진파장의 이동은 약

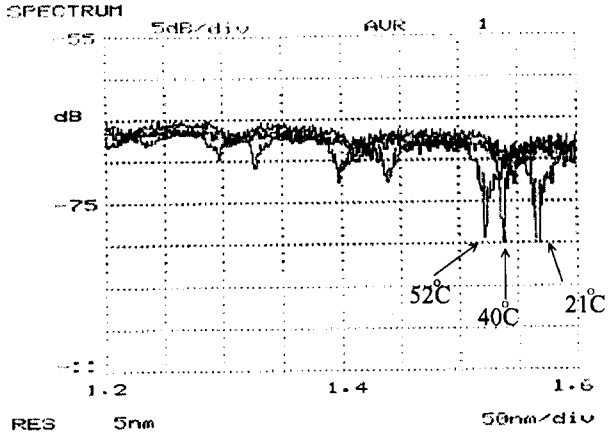

그림 9. 온도변화에 따른 광 여과특성(TE편광).

−1.5 nm/°C 나타났으며, 앞서 식(6)을 이용하여 계산한 결과 평면도파로의 열광학 계수는 2.3×10^{-4}/°C이였다. 이상의 실험 결과로 볼 때 폴리머의 열광학 효과를 이용하면 고속동작이 요구되지 않는 광 강도변조기나 파장가변 광필터로 이용할 수 있을 것으로 예상된다.

VI. 결 론

측면이 코어 가까이 연마된 광섬유와 다중모드 평면도파로를 이용한 광결합기의 동작특성을 연구하였다. 이 소자는 평면도파로 코어층의 굴절률이 높을수록 예리한 광여과 특성을 가지며, 굴절률 변화에 따른 공진파장의 이동현상을 이용하면 파장 가변 광필터로 동작함을 이론적으로 확인하였다. 평면도파로의 고유치 방정식을 이용하여 원하는 파장에서 효과적인 광결합이 일어나는 광학적 구조, 즉 코어층의 두께와 굴절률을 구할 수 있었다. 효과적인 광결합을 위한 광섬유 코어층과 평면도파로 코어층 사이의 간격, 광섬유의 곡률반경 등을 전산모의를 통해 구하였다. 설계된 데이터를 기초로 폴리머의 열광학 효과를 이용한 능동형 광결합기를 제작하여 그 특성을 측정하였다. 제작된 소자는 −0.5 dB 이하의 삽입손실, 그리고 −13 dB의 여과특성을 나타내었다. 그리고 폴리머에 인가하는 열에 의한 공진파장의 이동현상을 측정하여 제시하였다. 측정결과 열에 의한 공진파장의 이동현상은 약 −1.5 nm/°C로 나타났다. 이러한 효과를 이용하면 광스위치, 파장가변 광필터 및 열센서 등에 이용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 삼성전자의 일부 재정적 지원으로 이루어 졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

[1] K. O. Hill, Y. Fujii, D. C. Johnson, and B. S. Kawasaki, Appl. Phys. Lett. **32**, 467 (1978).
[2] G. Meltz, W. W. Morey, and W. H. Glenn, Opt. Lett. **14**, 823 (1989)

[3] B. S. Kawasaki, K. O. Hill, R. G. Lamont, Optics Lett. **6**, 327 (1981)
[4] S. K. Sheem and T. G. Giallorenzi, Optics Lett. **7**, 29(1979).
[5] R. A. Bergh, G. Kotler, H. J. Shaw, Eletron. Lett. **16**, 260 (1980)
[6] R. P. Bryan and G. R. Oleright, Eletron. Lett. **27**, 11, 894 (1991)
[7] K. McCallion, W. johnstone and G. Thursby, Electron. Lett. **28**, 410 (1992)
[8] W. Johnstone , G. thursby, D. Moodie, and K. McCallion, Optics Lett. **17**, 1538 (1992)
[9] W. johnstone, G. Fawcett, L. W. K. Yim, IEE Proc-Optoelectron. **141**, 229 (1994)
[10] S. A. Hamilton, D. R. Yankelevich, and A. Knoesen, J. Opt. Soc. Am. **15**, 740 (1998).
[11] M. B. J. Diemeer, J. J. Brons, and E. S. Trommel, J. of Lightwave Tech. **7**, 449 (1989).

Active optical coupler using the side polished single mode fiber and thermo-optic polymer multimode planar waveguide

Kwang Taek Kim, Ho Juong Yu, Sung Kuk Kim, So Young Lee and Jae Won Soung
School of Electronic and Electric Engineering, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

Si Hong Kim and Shin Won Kang
Department of Sensor Engineering, Kyungpook National University, Taegu 702-701, Korea

(Received November 30, 1998, Revised manuscript received May 6, 1999)

In this paper, we have investigated a fiber type active coupler which utilizes the mode coupling between the side polished single mode optical fiber and the active multimode planar waveguide. The proposed device can be used for not only tunable wavelength filter or optical intensity modulator but also a tool for measuring optical properties of guiding material such as refractive index, birefringence, electro-optic coefficient, and thermo-optic coefficient. We have designed and optimized a coupler structure using the BPM and fabricated the device using thermo-optic polymer as active planar waveguide overlay. The device showed that insertion loss was less then 0.5 dB, extinction ratio was −13 dB at the resonance wavelength, and the wavelength tunablity due to thermo-optic effect was −1.5 nm/^{o}C. The active coupler using thermo-optic effect can be used as a wavelength tunable filer, an optical intensity modulator and an optical sensor.