

# 고집적 저손실 집적광학회로 구현을 위한 수직형 비대칭 폴리머 광 결합기의 특성 분석 및 최적화

정희원 이소영\*, 송재원\*

The characteristics and optimization of vertical asymmetry polymeric optical coupler for fabrication of integrated optic circuits with high integration and low loss

Soyoung Lee\*, Jae Won Song\* *Regular Members*

요 약

제작 공정이 단순하고 결합길이가 매우 짧은 폴리머를 이용한 수직형 비대칭 광 결합기를 새로이 제안하였다. 제안된 소자의 결합 특성을 분석하여 최적화를 도모하였다. 광통신 파장대인 1.33 $\mu\text{m}$ , TE모드에서 중간 버퍼층 두께  $t=0.4\mu\text{m}$ 이고,  $n_u=1.522$ ,  $n_l=1.51$ 이고  $n_t=1.49$ 일 때, 결합길이가 277 $\mu\text{m}$ 이며, 최고 94%의 결합효율을 얻을 수 있었다. 이는 전체 소자길이를 감소시켜, 도파 손실을 줄일 수 있으며, 고집적화는 물론 공정의 단순화로 인한 생산 시간 및 비용 절감과 향후 광 스위치나 변조기로의 응용도 기대된다.

ABSTRACT

We proposed polymer based vertical asymmetric optical coupler. And we optimized the proposed device by coupling characteristic analysis. In 1.33 $\mu\text{m}$  wavelength, TE mode, we obtained very short coupling length ( $L=277.6\mu\text{m}$ ), high coupling efficiency (94%). The merits of proposed device are low propagation loss due to very short full device, low production cost and time, and high integrated fabrication. We will use this to fabricate optical switch, modulator and tunable WDM devices, etc.

## I. 서 론

현재 폴리머를 이용한 집적광학 소자의 연구는 다양한 분야에서 광범위하게 진행되고 있으며,<sup>[1]</sup> 특히 집적광학 회로의 구성요소 중 광 결합기는 파장에 따른 채널간 결합기로써 WDM은 물론 광 스위칭 소자로서 매우 중요한 위치에 있다. 더욱이 수직형의 구조를 갖는 광결합기가 새로이 제안되면서 결합길이를 줄여 전체 소자길이를 감소시킴으로써 고집적화는 물론, 도파로를 진행하는 동안 겪게 되는 도파 손실을 최소화하려는 움직임 또한 활발하다.<sup>[2]</sup>

그러나 이들 수직형 광결합기는 결합효율을 높이기 위하여 대부분 상·하부 도파로의 구조가 동일한 대칭형으로 제작됨에 따라, 이들은 매우 까다롭고 복잡한 공정을 갖게된다. 또한 이러한 공정의 복잡성과 두 도파로의 대칭성을 위한 반복작업은 오히려 제작공정의 불완전함으로 인하여 이론상의 이상적 결합에 비하여 효율이나 성능 면에서 상당한 저하를 가져오게 된다.<sup>[3]</sup>

반도체 물질과 반도체의 제작기법을 그대로 갖는 수직형 구조나<sup>[4]</sup>, 용융형 수직 결합기(Fused Vertical Coupler: FVC)<sup>[5]</sup> 역시 공정 상에서 두 도파로 사이의 정확한 간격을 유지시키고 재현하는 데에 신중

\* 경북대학교 전자전기공학부 광파연구실(leesy@palgong.knu.ac.kr)  
논문번호: 99301-0726, 접수일자: 1999년 7월 26일

을 기하지 않으면 안 되었다.

수직형 결합기의 구조가 갖는 가장 큰 장점은 동 평면구조의 광 결합기가 갖는 두 도파로 사이의 간격이 마스크 제작시 공정상의 한계에 의해 제약을 받게되는 데에 비해, 수직형 결합기는 중간 결합층 즉 도파로 사이 버퍼층을 사용하는 도파로 물질에 맞는 공정을 통하여 수직으로 쌓아가는 형식을 취할 수 있다는 것이다. 이렇게 중간 버퍼층의 두께 제어물 용이하게 할 수 있는 물질이 바로 폴리머 즉 유기 고분자 계열을 이용한 수직형 광 결합기이다.<sup>[6][7]</sup>

그러나 지금까지 연구된 폴리머를 이용한 광 결합기 역시 대칭형 구조를 가지며 O<sub>2</sub> RIE(Reactive ion etching) 전식 식각법으로 제작된 광결합기가 그 예이다. 그러나 이 역시 두 도파로의 대칭성을 위한 반복적인 공정과 정확한 식각 조건 등이 요구되는 번거로운 제작과정을 포함하고 있다.

따라서 본 논문은 제작방법이 매우 간단하고, 중간 버퍼층 즉 결합층의 두께를 단지 스핀 코팅만으로 조절할 수 있는 폴리머를 이용한 비대칭 수직형 광 결합기를 새로이 제안하고, 구조에 대한 특성을 분석하였다. 또한 본 연구는 팽용신용 파장대인 1.33 $\mu$ m에서 광 결합기를 설계하여 최적화함으로써 실제 소자로의 응용에 초점을 맞추어 진행하였다. 그리고 이러한 실제적 응용을 더욱 가시화하기 위하여 제안된 광 결합기가 스위칭 소자나 변조기로 사용될 수 있음을 보였다. 즉 외부로부터 굴절률의 변화물 유기시켜 이에 따른 결합효율의 정도를 분석하였다. 또한 팽용신용 파장대인 1.33 $\mu$ m에서의 결합층의 두께와 결합효율을 계산함으로써 최적화된 비대칭 수직형 광 결합기 구조를 제안하고 특성을 분석하였다.

본 연구에서 제안한 비대칭성은 구조상에서의 비대칭성의 의미로 제작공정을 매우 단순화시키기 위한 새로운 기법이며, 인위적인 비대칭 구조에 대한 결합길이를 신중함으로써 구조적인 비대칭성을 이용하여 결합길이를 최소화 할 수 있음을 보였다. 여기서 주목 할 것은 대칭형 구조가 갖는 두 도파로 간의 정확한 수직적 정렬과정은 도파로를 실제로 제작하는 과정에서 만나게 되는 공정상의 미세한 오차와 더불어 고려되어야 할 중요한 요소이며, 이는 하나의 마스크로 제작이 가능한 수평형 결합기에 비해 제작 상 오히려 더 복잡하게 된다. 그러나 수평형 결합기는 이미 하나의 파장 대에서 설계되어 고정된 결합길이를 가지므로<sup>[8][9]</sup> 사용되는 광원의

파장 대에 따라 또 다른 설계나 동작 조건이 요구된다. 이에 반해 수직형 비대칭형 결합기는 단지 상부 도파로의 결합길이만을 변화시키는 외부 섭동 요인만을 부여하면 다양한 파장 대에서 사용할 수 있는 소자로의 전환이 가능하다. 즉 하부 도파로는 실리콘 기판 상에 손쉽게 제작 가능한 반전된 텍 도파로를, 상부 도파로는 평면 도파로를 부분적으로 제작함으로써 상 하부 도파로의 정렬 과정에서 정확성이 거의 요구되지 않는다. 또한 RIE와 같은 공정의 반복이 사라지게 된다. 이러한 접근은 본 논문이 제안한 인위적인 비대칭성 구조에 대한 결합길이 신중함으로써 도파 구조와 도파로의 굴절률이 갖는 비대칭성을 이용하여 결합길이를 최소화 할 수 있음을 보였으며, 향후 실제 소자제작에 크게 도움이 되리라 기대된다

본 연구의 특징은 폴리머를 이용한 수직형 비대칭 광 결합기를 전산모의에 의하여 최적화하여 결합길이가 짧고 또한 결합길이를 단순히 중간 버퍼층의 코팅두께와 상부 도파로의 굴절률에 따라 손쉽게 제어 할 수 있는 결합기를 제안함으로써, 전체 소자길이가 입 출력 도파 길이를 합하여 1mm 미만 더 나아가 단면 절단 기술에 따라 수 백  $\mu$ m정도의 광 소자제작의 가능성을 보인 것이며, 설계 시 최적화 된 결합모드가 갖는 결합길이에 따라 상부로 결합되었던 빛이 다시 하부로 재-결합됨에 의한 수직형태의 결합변조기로서의 기능성도 보였다. 이는 또한 도파 손실 중에서 도파 길이가 줄어들며 따른 손실 감소효과도 갖게되므로, 대량 생산을 위한 저손실, 고 집적화는 물론 공정상의 단순화에 의한 신뢰성 확보라는 측면에서도 잇점을 가질 것으로 기대된다.

마지막으로 제안된 구조를 실제 스위치나 변조기로 사용하기 위하여 외부로부터 굴절률 변화물 유기시켜 결합효율의 변화도 함께 분석하였다. 이는 실제적으로 결합길이의 단축효과를 가짐으로써 구동 전력의 소비가 매우 적은 광 변조기의 제작에 도움이 될 것이다.

## II. 수직형 비대칭 광 결합기의 분석모델

그림1은 본 연구에서 제안한 비대칭 도파로 구조를 갖는 수직형 광 결합기의 단면도로서 (a)는 전체 도파로 구조이며, (b)는 단순화된 2차원 굴절률 분포를 고려한 단면도이다. 하부 도파로는 반전된 텍 구조로  $w=7\mu$ m,  $d_1=2.5\mu$ m이고 도파 물질은 굴절률을

다양하게 변화시켜 결합효율을 분석하고자 하였다.

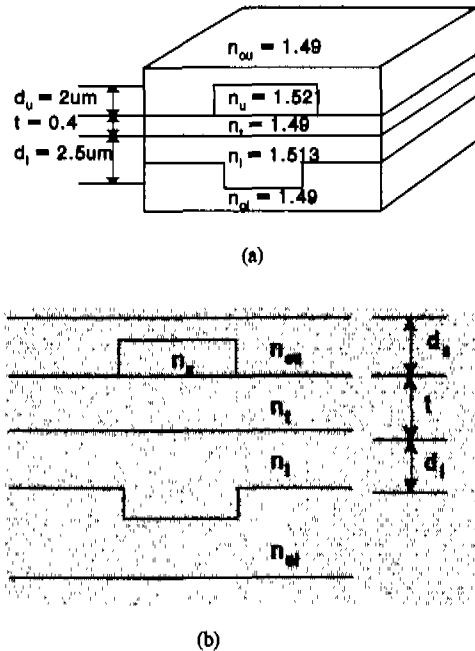


그림 1. 제안된 수직형 광 결합기의 도파로 구조  
(a) 전체유체도  
(b) 단순화된 2차원 굴절률 분포를 고려한 단면도

전체적으로 비대칭 구조를 갖는 광 결합기는 하부 도파로를 반전된 림도파로로 제작하고 중간 버퍼층으로  $n_s=1.49$  (PMMA: polymethyl-methacrylate)인 물질을 코팅한 후, 그 위에 다시 상부 도파로를 부분 코팅하여 평판 도파로를 제작하는 형태이다. 실제 반전된 도파로의 제작은 대부분 실리콘 기판이나 산화막을 식각하고 식각된 부분에 폴리머 도파물질을 코팅함으로써 이루어진다.<sup>[10]</sup> 이렇게 기판 자체에 흡을 내고 그 위에 폴리머를 코팅하여 제작되는 형태는 대부분 반전된 림도파로 구조를 가지며, 이는 양성의 림도파로(positive rib)를 거꾸로 뒤집어 놓은 형태로써 도파로의 특성은 동일하게 해석된다.<sup>[11]</sup>

따라서 본 연구에서는 코팅속도(rpm)를 변화시켜 중간 버퍼층의 코팅두께를  $t=0\sim 2\mu m$ 까지 조절하여 이에 따른 결합정도를 예측하였다. 이는 중간 버퍼층 즉 결합층의 코팅두께에 따라 결합길이를 조절할 수 있으므로 원하는 파장대에서 높은 결합효율을 얻기 위해 단지 코팅속도의 정확한 제어가 요구될 뿐이다. 물론 물질의 점도 역시 코팅 두께를 제

어하는 요인이므로 이들을 잘 고려하여야 한다.<sup>[12][13]</sup>

그림 2는 폴리머계열의 일종인 PMMA( $n=1.49$ )를 중간 버퍼층으로 사용하여 코팅된 두께에 따른 결합효율을 나타낸 것이며, 평면으로는  $1.33\mu m$ , TE모드로 섭동이 고려된 유효 굴절률법과 3D FDM BPM으로 해석된 결과로부터 추출한 것이다.

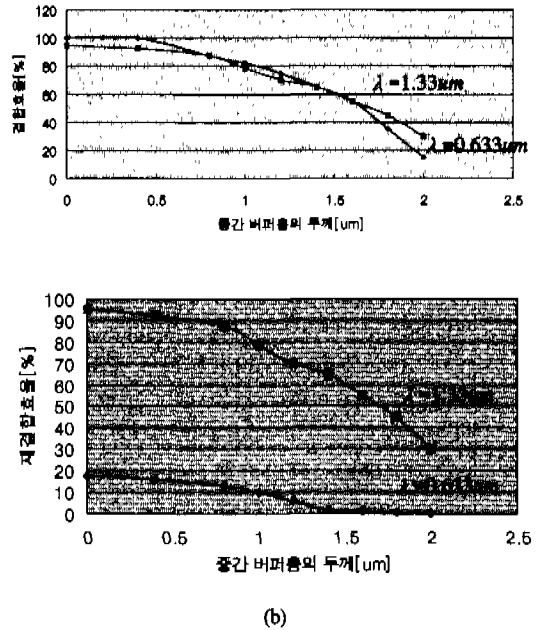


그림 2. 중간 버퍼층 두께에 따른 결합 및 재결합 효율

- (a) 중간 버퍼층 두께에 따른 결합효율
- (b) 중간 버퍼층 두께에 따른 재결합효율

제안된 구조가 하부의 림 도파로와 부분적으로 존재하는 상부 평판 도파로로 구성되므로 하부로 진행하던 빛이 상부의 도파로와 만나 결합된 후 다시 하부 도파로로 재결합되는 소자로서 결합효율과 재결합효율을 각각 표현하였다. 이때 하부 도파로로 입력된 빛은 손실이 없다고 가정하였으며, 결합 길이가 동일한 거리를 더 진행한 후의 결합효율이 궁극적으로 소멸비를 의미하게되며 소멸비는  $\frac{P_u}{P_l}$

로 정의하였다. 여기서  $P_u$ ,  $P_l$ 은 상 하부 도파로로 진행되는 도파광의 세기이며, 전산모의에 사용된 파장은 추정에 용이한 가시광선영역대인  $0.633\mu m$ 와 광통신용 파장대인  $1.33\mu m$ 로 동시에 두 개의 파장에 따른 결합효율의 변화를 나타내었다. 그림에서  $1.33\mu m$  파장대와 가시광선 영역에서의 결합 및 재결합 효율이 서로 다른 것을 볼 수 있는데 특히 동일한

결합길이에서 가지광선 영역의 파장에 대하여는 재결합이 전혀 일어나지 않게 할 수 있다.

이는 동일한 소자를 사용하여 파장대만 달리하더라도 광 결합기와 스위칭소자 또는 수직형 변조기로 응용될 수 있음을 의미하는 것이다. 그리고 가지광선 영역에서 약 20%의 재결합효율을 갖게 되는 형태로 광소자를 제작하게되면 변조도는 다소 떨어지더라도 관측이 용이한 파장대의 변조기로도 응용 가능하게 된다. 이때의 상 하부 도파로의 굴절률은  $n_0=1.521$ ,  $n_1=1.513$ ,  $d_0=2.5\mu\text{m}$ ,  $d_1=2\mu\text{m}$ 로 하였다. 여기에  $n_0$ 와  $n_1$ 의 굴절률도 사용되는 폴리머의 물질에 따라 다양하게 변화시킬 수 있으므로 상 하부 도파로의 굴절률변화에 따른 결합효율의 변화도 예측이 가능하다.

이렇게 상 하부 도파로의 굴절률 변화에 따른 결합효율의 변화를 그림 3에 나타내었다. 최측은 중간 버퍼층과 상부 도파로의 굴절률의 차이를 나타내는 것으로 상부 도파로와 중간 버퍼층의 물질과의 차이를 변화시킴으로써 하부 도파로와의 유효굴절률에 의한 위상정합조건이 점점 만족됨에 따라 결합효율이 커지게 됨을 보인 것이다.

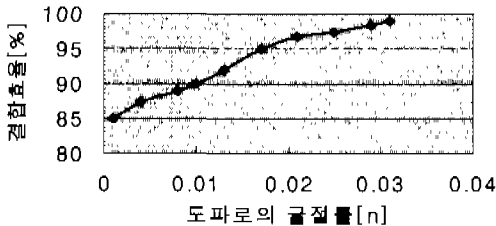


그림 3. 다양한 도파물질 선정에 따른 광 결합도

이는 상 하부 도파로의 굴절률차이는 약 0.01정도(실제 전산 모의시:0.012)로 일정하게 하고, 이들 도파로의 굴절률과 중간 버퍼층의 물질을 다르게 사용함으로써 중간 버퍼층과 상부 도파로를 0~0.04까지 미세하게 변화시킴으로써 이에 따른 결합정도 물 보였으며, 1.33 $\mu\text{m}$ 의 파장을 사용하였다. 여기서 중간 버퍼층과 도파로의 굴절률의 차이가 클수록 광결합이 더 잘 일어나는 것을 볼 수 있었다. 그러나 지나친 굴절률의 차이는 단지 하부 도파로에만 진행하는 빛을 강하게 국한시키게 됨으로 결합모드 이론에 근거한 굴절률의 변화가 필요하다.<sup>[14]</sup> 또한 구조적 비대칭성에 두 도파로의 전파상수차 ( $\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2$ ,  $\beta = \frac{2\pi}{\lambda} n_{eff}$ )에 대한 결합길이  $L$ 를 그림 4에서 표현하였다.

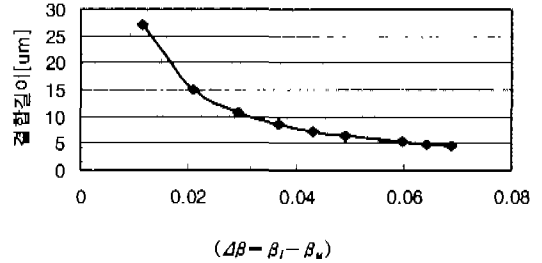


그림 4. 인위적 비대칭성과 결합길이와의 관계

이때  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ 은 각각 상 하부 도파로의 전파상수이며, 두 도파로간의 결합길이  $L$ 은  $\pi / (\beta_1 - \beta_2)$ 로써 결합길이를 줄이기 위해서는 비 대칭성을 크게 하는 것이 유리하다. 즉 상 하부 도파로의 전파상수차는  $\Delta\beta$ 로, 이를 서서히 변화시키면 이에 따른 결합길이는 역으로 감소함을 볼 수 있다. 그러나 지나친 비대칭성은 결합 효율 면에서는 오히려 마이너스요인이 된다. 여기서 도파로 내를 진행하는 빛의 전계를 식1로 표현하고 두 모드간 결합을 위한 방정식을 식2로 나타내었다.<sup>[15]</sup>

$$E(x, y, z) = A(z)\epsilon(x, y) \tag{1}$$

$$\frac{dA_1(z)}{dz} = -j\beta_1 A_1(z) - jK_{12} A_2(z) \tag{2}$$

$$\frac{dA_2(z)}{dz} = -j\beta_2 A_2(z) - jK_{21} A_1(z)$$

이때  $A(z)$ 는 진행방향으로의 전계(longitudinal field)이고,  $\epsilon(x, y)$ 는 횡방향(transversal field)의 전계 성분이며,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ 는 두 도파로의 전파상수,  $K_{12}$ ,  $K_{21}$  결합계수를 나타낸다. 여기서 방정식의 해를 구하기 위하여 경계조건 ( $A_1(0)=1$  and  $A_2(0)=0$ )를 적용하면 다음과 같은 해를 구할 수 있다. 이렇게 구해진 해가 식 3이다.

$$A_1(z) = (\cos(bz) - j\frac{\Delta\beta}{2b} \sin(bz)) e^{-j(\beta_1 - \frac{\Delta\beta}{2})z} \tag{3}$$

$$A_2(z) = (-j\frac{K}{b} \sin(bz)) e^{-j(\beta_2 - \frac{\Delta\beta}{2})z}$$

이때,  $b^2 = K^2 + (\frac{\Delta\beta}{2})^2$ ,  $\Delta\beta = \beta_1 - \beta_2$ 이다. 또한 광세기의 결합에 의한 에너지 전달은  $bL = \pi/2 + m\pi$ 일 때 일어나며, 최소 결합조건은  $\Delta\beta = \sqrt{3}\pi/L$ 이다. 따라서 비대칭과 결합길이는 반비례함을 알

수 있다.

또한 결합계수와 결합길이는 Marcatili의 결합계수 공식으로써 다음과 같이 표현되어진다.<sup>[16]</sup>

$$K = \frac{\pi}{2L} = 2 \frac{k_x^2 \times \zeta}{k_z} \frac{\exp(-t/\zeta)}{1 + k_x^2 \zeta^2} \quad (4)$$

여기서  $k_y, k_z$ 는 y와 z 방향의 전파상수,  $\zeta$ 는 y방향의 감쇄상수, t는 도파로간의 간격으로 t의 변화에 대한 결합계수 K와의 관계를 나타낸 것이며, 결합길이와 결합계수는 반비례함을 의미한다. 여기서  $\Delta n$ 를 최소화시킴으로써 효율면에서 불이익을 갖지 않으면서 동시에 최적화된 결합길이를 찾아낼 수 있었으며, 이렇게 하여 최적의 결합상태를 가진 상태에서 도파로를 진행하는 빔의 전파파정이 그림 5이다. 단 감쇄 성분  $\zeta$ 은 전산모의 파정에서는 없다고 가정하였다.

즉 상 하부 도파로의 굴절률의 차이  $\Delta n=0.001$ 정도가 되도록 하고, 버퍼층과 도파로의 굴절률차이는 0.02로 두어 중간 버퍼층의 두께  $t=0.4\mu\text{m}$ 로 두었을 때로 결합길이가  $277.6\mu\text{m}$ 였다. 이러한 최적화된 빔의 전파과정을 BeamProb을 이용하여 표현하였으며, 그림에서 나타난 결합길이가 다르게 보이는 것은 이를 2차원적으로 간소화하여 되돌림(Re-Programming)하였기 때문이다.

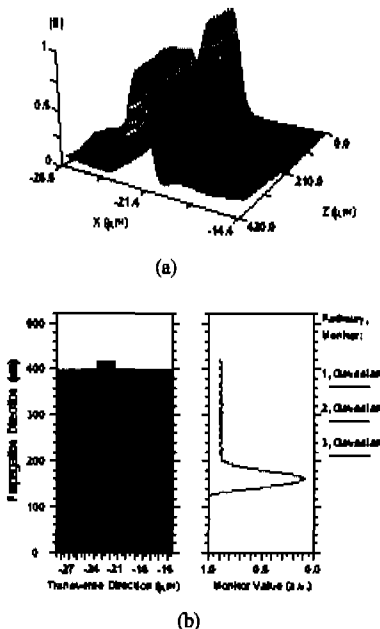


그림 5. 제안된 수직형 광결합기의 도파빔 패턴  
(a). 광 결합에 의한 도파빔의 전파과정  
(b). 부분적 상부 도파로와의 결합효율 분포도

그림 5(a)는 광의 결합 및 재결합이 일어나는 과정을 3차원으로 도시한 것이며, 결합효율의 분포도를 그림 5(b)에 나타내었다. 하부로 진행하던 빛이 부분적으로 존재하는 도파로로 결합되어 다시 하부 도파로로 재결합되어 진행되는 것을 볼 수 있으며, 간단한 개략도와 광의 경로를 그림 6에 나타내었다.

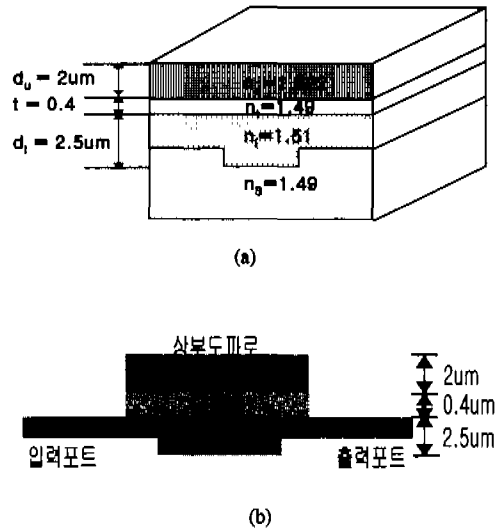
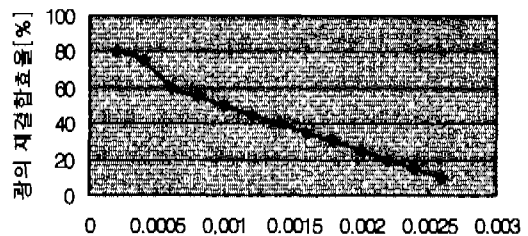


그림 6. 두 도파로 간의 광결합 및 재결합의 진행경로

이러한 결과로부터 알 수 있는 바와 같이 습식 식각이나 팽표백 및 전식 식각 등에 의하여 제작되는 하부 도파로<sup>[17]</sup>를 제외한 전 공정을 유기고분자 물질인 폴리머를 사용하여 스핀코팅의 간단한 공정만으로 제작이 가능한 물론 쉽게 코팅두께를 조절함으로써 파장에 따른 결합정도를 높일 수 있게 하였다.

또한 실제 광 스위치나 변조기로 사용하기 위하여 외부로부터 굴절률의 변화를 주었을 때의 결합효율의 변화를 역시 상용화된 프로그램을 이용하여 알아보았다. 폴리머의 열의 민감성을 이용한 열 광



온도에 따른 굴절률변화  $dn/dT [^{\circ}\text{C}^{-1}]$   
그림 7. 열광학효과에 의한 굴절률 변화에 따른 광의 재결합효율

효과에 의한 굴절률변화( $\frac{\Delta n}{\delta T} \Delta T$ )에 따른 결합도 쿨 나타낸 것이 그림 7이다.

열 광학효과가 우수한 물질인 폴리머의 열광학계수가 약  $-1.1 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$  정도이므로 온도조절에 의하여 완전한 광 결합세기의 광에너지 교환이 일어남을 알 수 있었다. 이는 도파로의 유효굴절률이 열 광학 효과에 의하여 변화함으로써 재결합 효과가 다르게 나타남을 보여주는 것이다. 그림 7에서 알 수 있듯이 열이 가해지는 초기상태에서는 열광학적 효과의 선형적 변화와는 달리 다소 비 선형적인 것을 알 수 있는데, 이는 폴리머가 열에 의하여 굴절률이 변화하는데 어느 정도의 이완상태까지 천이시간이 소요됨을 나타내는 것이다. 실제 열 광학변조기의 속도가 느린 것 역시 여기에 기인하는 것으로 여겨진다. 또한 열광학 효과를 갖는 폴리머에 열을 인가하면 굴절률이 감소하며 결국은  $L\alpha c/\Delta n$ 의 관계로부터 비대칭적인 두 도파로 사이의 실질적 결합길이 가 줄어들게 되며, 이는 결국 하부 도파로로 되돌아 오는 빛의 유무로 나타나게 된다. 이를 빔 전파방법을 이용하여, 결합길이뿐 제안된 구조의 절반 ( $L/2=138.8\mu\text{m}$ )이 되도록 설계하였을 때의 전산모의 결과를 그림 8에 나타내었다.

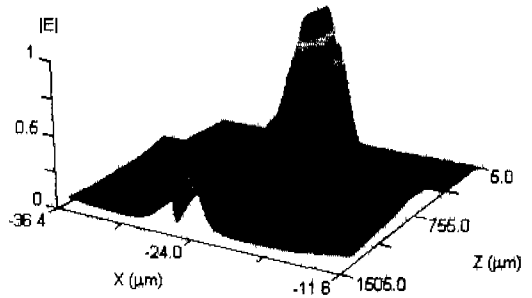
그림 8은 실제 외부의 섭동에 의해 상부 도파로의 유효굴절률이 변화함으로써, 하부 도파로로 진행 하던 빛이 상부 도파로로 완전히 스위칭됨을 보여주는 것으로 열광학 효과를 이용한 외부 변조가 실제 소자에서 스위치로 동작 가능함을 의미한다. 지금까지 해석된 결과들은 모두 사용 파장  $1.33\mu\text{m}$ 에서 TE모드에 대하여 전산모의 된 결과이다. 그러나 본 논문에서 제안된 구조는 비대칭이며 특히 상부 도파로가 평면구조이므로 상 하부 도파로의 구조적 특성으로 인한 편광 의존성은 간과할 수 없게 된다.<sup>(18)</sup>

따라서 적외선 영역인  $1.33\mu\text{m}$  대하여 TE와 TM

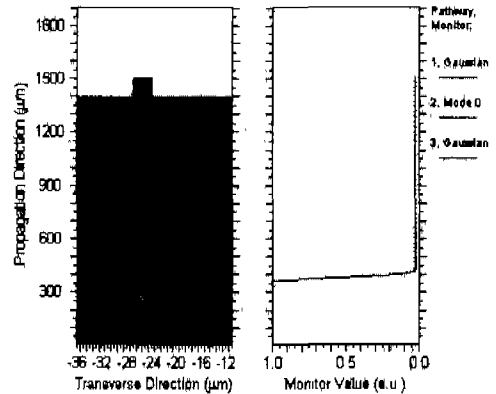
표 1. 수직형 비대칭 광결합기의 편광에 따른 유효굴절률 및 결합길이

파장 / 모드	1.33[ $\mu\text{m}$ ]/TE	1.33[ $\mu\text{m}$ ]/TM
	유효굴절률	유효굴절률
상부 평면 도파로	1.512349	1.51296
하부 도파로	1.5082	1.508099
두 도파로의 굴절률차( $\Delta n$ )	0.004149	0.004861
전파 상수차( $\Delta\beta$ )	19600.7	22964.33
결합 길이[ $\mu\text{m}$ ]	277.612	236.95

모드 각각에 대한 유효 굴절률을 빔 전파방법을 이용하여 전산모의 한 결과물 표 1과 같이 나타내었다. 이때 하부 도파로의 손실은 없는것으로 가정하고 상부 도파로는 평면 도파로로 손실율 0.5dB로 가정하였다.



(a)



(b)

그림 8  $L/2$ 의 결합길이를 갖는 수직형 비대칭 광결합기의 도파로 패턴

- (a) 상부도파로와 결합된 도파로의 전파 과정
- (b) 변화된 결합길이뿐 갖는 상부 도파로와의 광결합 분포도

표 1에서 보는 바와 같이 편광에 따른 유효굴절률은 제안된 구조가 비대칭이라는 점과 상부의 도파로가 평면이라는 구조상의 이유로 다른 값을 가지지만, 상 하부 도파로 사이의 효과적인 광 결합을 위해서는 두 도파로 사이의 위상차 즉 굴절률 차이가 가장 중요한 요소가 된다. 따라서 각 편광에 대한 두 도파로의 굴절률 차이는 결합효율에 다소간의 영향을 미칠 것으로 예상된다.

그러나 이러한 편광 의존성은 외부 섭동을 가하는 요인이 무엇인가에 따라 그 의존도가 커지기도 하고, 배제되기도 하므로 도파로나 상부 클래드의

폴리머의 물질 특성에 따라 결정된다고 보아도 무관할 것이다.

가령 전기-광학 폴리머에 수직으로 풀링 전체를 인가하여 폴리머내의 쌍극자 배열을 일정한 방향으로 정렬시키게 되면, 이에 따른 편광 의존도는 의존의 문제가 아닌 입사시의 편광을 미리 정렬된 폴리머의 전기 상극자의 방향과 맞추어 진행해야 한다.<sup>[19]</sup> 그러나 열광학적 효과를 외부 섭동으로 이용할 경우는 거의 편광과 무관하게 되므로<sup>[20]</sup> 이는 단순히 편광에 의한 굴절률 차이만큼의 외부전력을 공급함으로써 편광의존도를 줄이게 된다.

따라서 상부 도파로가 평면 구조를 가짐에 따라 편광의존도가 큰 것이 다소 불리하기는 하나, 외부에서 가해주는 인가 에너지의 세기로 구조적인 비대칭성에 의한 편광 의존도를 낮출 수 있을 것으로 예상된다. 특히 제안된 비대칭 구조를 전기광학 폴리머를 이용한 변조기로 응용 할 경우, 풀링 과정에서 이미 편광 의존성을 갖기 때문에<sup>[21][22]</sup> 이때 여기되는 진행파의 모드는 하나의 편광에 대해서만 고려되므로 구조적인 편광의존도에 의한 성능대비의 의미는 크게 중요하지 않을 것으로 생각된다.

### III. 결론 및 고찰

제작 공정 상 기법이 매우 간소화되고, 결합길이가 짧은 수직형 비대칭 폴리머파 결합기를 새로이 제안하고, 파 결합의 중요 요소인 중간 버퍼층의 두께 변화와 구조상의 비대칭성에 따른 결합효율을 분석하였다. 즉 제안된 구조로 1.33 $\mu\text{m}$ , TE모드를 입력파장으로 하여 중간 버퍼층 두께  $t=0.4\mu\text{m}$ 이고,  $n_0=1.521$ ,  $n_1=1.51$ 이고  $n_2=1.49$ 일 때 결합길이 277.612 $\mu\text{m}$ , 결합효율 94%인 수직형 비대칭 광 결합기를 얻음으로써 특성분석에 의한 최적화를 이루었다. 여기서 우리는 광통신영역의 사용파장 중 전송 손실이 적은 장파장 대역에서 더 효과적인 결합이 일어남을 알 수 있었으며, 열 광학에 의한 외부 변조의 가능성도 보였다. 이는 향후 열 광학뿐 아니라, 전기광학이나 음향 광학성질을 갖는 폴리머 물질을 사용함으로써 응용의 폭을 훨씬 넓일 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 본 연구는 기존의 동 평면 구조에서 필요한 사용 파장에 따른 별도의 마스크 제작 공정이 제거되고, 마스크 공정의 한계와 상관 없이 짧은 결합길이를 가질 수 있도록 하였다. 또한 대칭형의 수직구조에 비해 제작 공정이 매우 단순하여, 설계와 제작에 있어서의 오차를 최소화함으로써

공정의 단순성과 다양성이라는 장점을 크게 살릴 수 있게 하였다. 특히 결합길이물 코팅두께에 따라 자유로이 조절 할 수 있도록 하였다. 이는 본 연구에서 진행된 폴리머의 물질 선정에 있어서 굴절률을 다양화함으로써 중간층의 코팅두께 뿐 아니라, 상부 도파로의 물질에 따라 결합길이를 훨씬 더 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

또한 실제 폴리머의 도파 손실 중 파장에 따른 흡수 손실 이외에도 코팅 면의 매끄러운 정도가 도파로의 성능에 크게 영향을 미치는 점을 고려한다면 전체 소자길이가 월등히 줄어들므로 해서 도파 손실의 최소화에도 기여 할 것이다.

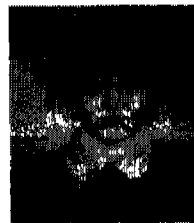
더우기 능동형 결합기로서 외부 전압이나 전력 인가시 훨씬 낮은 전압 또는 전력으로 광 스위치나 변조기를 구동할 수 있게 됨으로써 폴리머를 이용한 집적광학소자의 양산화 뿐만 아니라 저 손실, 고 집적화는 물론 저렴한 가격과 신뢰성 있는 광통신 서비스가 보편화되는 데에 다소나마 도움이 되기를 기대한다.

### 참고 문헌

- [1] Lawrence A. Hornak, "Polymers for Lightwave and Integrated Optics", Marcel Dekker Inc., pp. 385-386, 1992
- [2] J. E. Zuker, K. L. Jones, M. G. Young, B. I. Miller, and U. Koren, "Compact directional coupler switches using quantumwell electrorefraction," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 55, pp.2280-2282, 1989
- [3] J. J. Kim, W. Y. Hwang, and T. Zyung, "Design and fabrication of nonlinear optical polymer waveguide devices," *Molecular Cryst. and Liquid Cryst.*, vol. 267, pp.353-363, 1995
- [4] A. Bandyopadhyay and P. K. Basu "Low-Voltage Vertical Directional Coupler Switch with suppressed Electroabsorption", *IEEE Journal of Quantum Electronics.* vol. 32, No. 6, pp.1048, 1996
- [5] B. Liu, A. Shakouri, P. Abraham, B. G. Kim, A. W. Jackson, and J. E. Bowers, "Fused vertical couplers," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 66, pp.3410-2638, 1998
- [6] Toshio Watanabe, Makoto Hikita, Michiyuki Amano, Yoshito Shuto and Satoru Tomaru

- "Vertically stacked coupler and serially grafted waveguide: Hybrid waveguide structures formed using an electro-optic polymer" *J. Appl. Phys.* Vol. 83, No. 2, 15 pp.639-649, 1998
- [7] M. Hikita, Y. Shuto, M. Amano, R. Yeshimura, S.Tomaru, and J. Kozawaguchi, "Optical intensity modulation in a vertically stacked coupler incorporation EO polymer", *Appl. Phys. Lett.*, vol. 63, pp.1161-1162, 1993
- [8] 이상림 "Al 전극과 ITO전극을 이용한 LiNbO3 BOA 스위치의 설계 및 제작," 경북대학교 석사학위논문, 1997
- [9] E. Marom, O. G. Ramer, and S. Ruschin, "Relation between normal mode and coupled mode analyses of parallel waveguide," *IEEE J. Quantum Electron*, vol. QE-20, pp. 1311-1319, 1984
- [10] 홍순광, "실리콘 기판상에 RIE와 산화작용을 적용한 폴리머 광변조기," 경북대학교 석사학위논문, 1998.
- [11] Masanori Koshiha "Optical waveguide analysis, McGraw-Hill, Inc. Chap.5
- [12] 박원규, "레이저 리소그래피를 이용한 역  $\beta$  방향성 결합기의 설계 및 제작" 경북대학교 석사학위 논문, 1999
- [13] 박이순, "Fine line lithography를 위한 Polymer Resist 연구", 서울대학교, 반도체부 연구보고서, 1990
- [14] H. A. Haus, W. P. Huang, S. Kawakami and N. A. Whitaker, "Coupled-Mode theory of Optical Waveguides", *IEEE J. of Lightwave Tech.* vol. LT-5, No.1, pp.16-23, 1987.
- [15] K. Tada and K. Hirose, "A new light modulator using perturbation of synchronism between two coupled guides," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 5, pp. 561-562, 1974
- [16] Marcatili, E. A. J, "Dielectric Rectangular waveguide and directional coupler for integrated optics," *Bell syst. Tech. J.*, vol. 48, pp.2071-2102, 1969
- [17] 송재원, 폴리머 도파로형 광 결합기 및 광 변조기 개발, 경북대학교 테크노파크-삼성전자 공동 연구, 3차년도 보고서, 1999.
- [18] D. Marcuse, "Directional Couplers Made of Nonidentical Asymmetric Slabs. Part II: Grating-Assisted Couplers," *IEEE J. of Lightwave Tech.* vol. LT-5, NO. 2, pp. 268-273, 1987
- [19] N. Anwar, C. Themistos, B. M. A. Rahman and Kenneth T. V. Grattan, "Design considerations for an electro-optic directional coupler modulator," *J. of Lightwave Tech.*, vol. 17, pp.598-605, 1999
- [20] M. B. J. Diemer, J. J. Brons, and E. S. Trommel, "Polymer Optical Waveguide Switch Using the thermo-optic effect," *IEEE J. Lightwave Tech.*, vol. 7, no.3, pp.449-543, 1989
- [21] 김광택, 이소영, 이남권, 송재원, 박이순, 금창대, "축색결합 폴리머 필름의 전기광학 특성 측정," *한국광학회지*, vol.9, no.4, pp. 215-220. 1998
- [22] N. Anwar, C. Themistors, B. M. Rahman and Kenneth T. V. Grattan, " Design considerations for an electrooptic directional coupler modulator," *J. of Lightwave Tech.*, vol. 17, pp. 598-605, 1999

이 소 영 (Soyoung Lee)

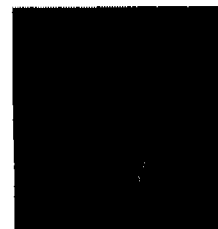


1989년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업 정회원  
 1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사  
 1996년 3월~현재 : 경북대학교 전자공학과 박사과정

<주관심 분야> 전자공학, 광통신 공학, 집적광학소자 및 광섬유통신

송 재 원 (Jae Won Song)

정회원



1980년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업 정회원  
 1982년 2월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 석사  
 1986년 8월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 박사

1986년 9월~현재 : 경북대학교 전자전기공학 교수.  
 <주관심 분야> 전자공학, 광통신 공학, 집적광학소자 및 광섬유통신