

매우 짧은 길이와 높은 소멸비를 가지는 두 개의 영역으로 구성된 수직 방향성 결합기의 설계

(Design of ultra short vertical directional couplers with high extinction ratios composed of two sections)

趙成贊*, 薛鍾哲*, 金富均*

(Sung-Chan Cho, Jong-Chol Seol, and Boo-Gyoun Kim)

요 약

100 μ m 이하의 길이를 가지는 두 개의 영역으로 구성된 수직 방향성 결합기의 영역 1의 출력단과 영역 2의 출력단에서 각각 30 dB 이상의 소멸비를 가지는 cross state와 bar state를 얻을 수 있었다. 각 영역의 두 도파로가 가질수 있는 여러 굴절률 값에 대하여 향상된 결합모드 이론과 beam propagation method를 사용한 계산 결과의 분석을 통해 영역 1의 출력단과 영역 2의 출력단에서 각각 30 dB 이상의 소멸비를 가지는 cross state와 bar state를 얻을 수 있는 수직 방향성 결합기의 설계 지침을 제시하였다.

Abstract

We show that both cross and bar states with very high extinction ratios larger than 30dB can be obtained in ultra short (<100 μ m) two-section vertical directional couplers. Based on the calculations of various possible combinations of the refractive indices of waveguides in each section using the improved coupled mode theory and beam propagation method, the guidelines for the design of ultra short two-section vertical directional couplers are presented to obtain both cross and bar states with high extinction ratios larger than 30 dB at the ends of section 1 and section 2, respectively.

I. 서 론

소형의 방향성 결합기는 광통신 시스템용 집적광학 회로에 사용되는 매우 중요한 소자이다. 방향성 결합기는 작은 크기, 작은 손실, 높은 소멸비(또한 작은 crosstalk)등과 같은 특징을 가지고 있어야 한다. 또한 편광에 따른 성능의 변화가 작아야하고 광 집적회로에서 발생하는 손실 보상을 위해 광증폭기를 집적시킬

수 있어야 한다.

기존의 수평 방향으로 결합되는 도파관(laterally arranged waveguide) 구조를 가지는 방향성 결합기 형태의 스위치는 결합길이가 길며 매우 작은 제작 공차를 가지기 때문에 실제 소자를 제작하는데 매우 어렵다는 단점이 있다^[1]. 반면 수직 방향으로 결합된 도파관(vertically arranged waveguide) 구조를 가지는 방향성 결합기 형태의 스위치는 결합길이가 짧고 제작 공차가 비교적 크기 때문에 많은 연구가 수행되어 왔다. 그러나 이러한 소자는 도파관 사이의 간격이 매우 좁아 입력포트와 출력포트를 분리하기가 어려워 실제 시스템에 사용되는 스위칭 소자를 제작하기에는 어려움이 많았다^[2].

* 正會員, 崇實大學校 電子工學科
(Dept. of Electronic Engineering, Soongsil Univ.)

※ 본 연구는 정보통신부에서 지원하는 98년도 대학기초연구지원사업으로 수행되었습니다.

接受日字:1999年5月17日, 수정완료일:1999年8月19日

웨이퍼 융합 (wafer fusion)을 이용한 융합된 수직

결합기 (fused vertical coupler, FVC)는 입력포트와 출력포트를 서로 다른 기판에 만들 수 있으므로 입력포트와 출력포트를 쉽게 분리할 수 있고 퓨전층의 조성비와 두께를 임의로 바꾸어 줄 수 있기 때문에 설계시 많은 자유도가 주어진다^[3]. 또한 1.55 μm 영역에서 물질 분산의 차이가 큰 InP계열 재료와 GaAs 계열 재료의 융합에 의하여 편광에 따른 성능 변화가 아주 작은 수직 결합기를 만들 수 있다^[4].

단일 영역으로 구성된 FVC의 경우 두 도파로를 약간 비대칭하게 만들면 100 μm 이하의 매우 짧은 결합 길이에서 30 dB 이상의 매우 높은 소멸비를 갖는 cross state를 얻을 수 있음이 보고되었다^[5]. FVC가 스위칭 소자로 쓰이기 위해서는 30 dB 이상의 매우 높은 소멸비를 가지는 bar state도 얻을 수 있어야 한다. 단일 영역으로 구성된 FVC의 경우 두 도파로의 굴절률과 인쪽 클래딩 층의 굴절률 변화에 의해서는 100 μm 이하의 매우 짧은 길이를 가지는 경우 30 dB 이상의 소멸비를 가지는 bar state를 얻을 수 없다. 따라서 본 논문에서는 100 μm 정도의 길이를 가지며 두 개의 영역으로 이루어진 수직 방향성 결합기에 대하여 향상된 결합모드 이론과 beam propagation method(BPM)을 이용한 결합 길이와 소멸비에 대한 계산결과 분석을 통하여 30dB 이상의 높은 소멸비를 가지는 cross state와 bar state를 동시에 얻을 수 있음을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 2개의 영역으로 구성된 일반적인 융합된 수직 방향성 결합기에 대한 수식을 향상된 결합모드 이론과 전달행렬 방법을 이용하여 구하였다. 3장에서는 향상된 결합모드 이론과 BPM을 이용하여 두 영역으로 구성된 FVC의 경우 30 dB 이상의 소멸비를 가지는 cross state와 bar state를 동시에 얻을 수 있음을 보인다. 마지막으로 4장에서는 결론을 맺는다.

II. 다중 영역으로 구성된 융합된 방향성 결합기의 전달행렬

그림 1에서와 같이 두 개의 다중영역으로 구성된 수직 결합기의 i 번째 영역에서의 필드의 관계를 나타내는 향상된 결합모드 이론에 의한 수식은 다음과 같다^[6].

$$\frac{d}{dz} a^{(i)}(z) = -i\gamma_{(a)}^{(i)} a^{(i)}(z) - ik_{ba}^{(i)} b^{(i)}(z) \quad (1)$$

$$\frac{d}{dz} b^{(i)}(z) = -ik_{ab}^{(i)} a^{(i)}(z) - i\gamma_{(b)}^{(i)} b^{(i)}(z) \quad (2)$$

여기서 $a^{(i)}(z)$ 와 $b^{(i)}(z)$ 는 각각 i 번째 영역에서의 도파로 A와 도파로 B의 도파 모드의 필드 크기이며 $\gamma_{(a)}^{(i)}$, $k_{ab}^{(i)}$, $k_{ba}^{(i)}$, 그리고 $\gamma_{(b)}^{(i)}$ 는 참고문헌 6의 692쪽의 수식 (H.30)과 같이 정의된다.

영역 2의 출력단에서의 두 도파모드 $a^{(2)}(L)$ 과 $b^{(2)}(L)$ 의 크기는 전달행렬에 의하여 다음과 같이 영역 1의 입력단에서의 두 도파모드의 크기 $a^{(1)}(0)$ 와 $b^{(1)}(0)$ 에 대하여 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} a^{(2)}(L) \\ b^{(2)}(L) \end{bmatrix} = T^{(2)} T^{(1)} \exp[-i(\phi^{(1)} + \phi^{(2)})] \begin{bmatrix} a^{(1)}(0) \\ b^{(1)}(0) \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서 i 번째 영역에서의 전달행렬 $T(i)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$T^{(i)} = \begin{bmatrix} \cos \psi^{(i)} l^{(i)} + i \frac{\Delta}{\psi^{(i)}} \sin \psi^{(i)} l^{(i)} & -i \frac{k_{ab}^{(i)}}{\psi^{(i)}} \sin \psi^{(i)} l^{(i)} \\ -i \frac{k_{ba}^{(i)}}{\psi^{(i)}} \sin \psi^{(i)} l^{(i)} & \cos \psi^{(i)} l^{(i)} + i \frac{\Delta}{\psi^{(i)}} \sin \psi^{(i)} l^{(i)} \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서 $l^{(i)}$ 은 각 영역에서의 길이이며 $\psi^{(i)}$, $\phi^{(i)}$, 그리고 그 외의 다른 변수들은 참고문헌 6의 305쪽에 주어진 수식 (8.4.15)와 (8.4.16)과 같다. 따라서 각 영역의 출력단에서의 도파관 모드 A와 B의 출력 파워 $P_a^{(i)}$ 와 $P_b^{(i)}$ 는 다음과 같이 각각 나타낼수 있다^[6].

$$P_a^{(i)} = \text{Re}[(C_{ab}^{(i)} a^{(i)}(l^{(i)}) + C_{ba}^{(i)} b^{(i)}(l^{(i)})) (a^{*(i)}(l^{(i)}) + C_{ba}^{*(i)} b^{*(i)}(l^{(i)}))] \quad (5)$$

$$P_b^{(i)} = \text{Re}[(C_{ba}^{(i)} a^{(i)}(l^{(i)}) + b^{(i)}(l^{(i)})) (C_{ab}^{*(i)} a^{*(i)}(l^{(i)}) + b^{*(i)}(l^{(i)}))] \quad (6)$$

여기서 $C_{ab}^{(i)}$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$C_{ab}^{(i)} = \frac{1}{2} \int \int \mathbf{E}_{t,b}^{(i)} \times \mathbf{H}_{t,a}^{(i)} \cdot \hat{z} dx dy \quad (7)$$

여기서 $E_{t,b}^{(i)}$ 는 영역 i 의 도파로 B의 도파모드의 횡방향으로의 전계이며 $H_{t,a}^{(i)}$ 는 영역 i 의 도파로 A의 도파모드의 횡방향으로의 자계이다. 각 영역의 끝단에서의 소멸비는 $P_a^{(i)}$ 와 $P_b^{(i)}$ 의 비이다.

III. 계산 결과 및 검토

그림 1은 두 개의 영역으로 구성된 수직 방향성 결

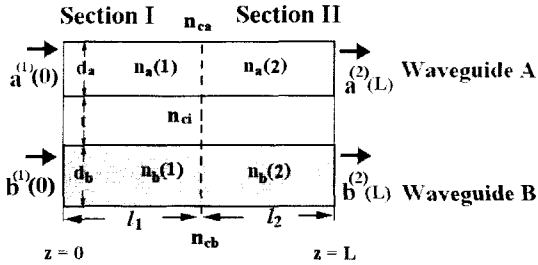


그림 1. 두 개의 영역으로 구성된 수직 방향성 결합기의 개념도

Fig. 1. Schematic diagram of fused vertical couplers with two sections.

합기의 개념도이다. 계산에 사용된 구조 변수와 물질 변수들은 다음과 같다. 도파로 A와 B의 바깥쪽 클래딩 층의 굴절율, n_{ca} , 와 n_{cb} , 그리고 안쪽 클래딩 층의 굴절율, n_{c1} , 는 3.17, 두 도파로의 두께는 $0.5 \mu\text{m}$, 그리고 두 도파로 사이의 간격, t , 는 $0.6 \mu\text{m}$ 이며 계산은 $1.55 \mu\text{m}$ 파장에서 수행하였다. TM 모드의 경우는 도파로에 강금되는 파위의 크기가 TE 모드에 비하여 작기 때문에 결합길이가 더 작다는 특성을 제외하고는 수직 결합기의 각 파라미터의 변화에 대한 특성변화가 TE 모드와 비슷하다. 따라서 본 논문에서는 TE 모드에 대하여 향상된 결합모드 이론과 BPM을 사용하여 결합길이와 소멸비에 대하여 계산을 수행하였다. 실제 소자 제작에 사용되는 ridge 도파로와 같은 2차원의 채널 광도파로는 유효굴절율 방법을 사용하여 슬랩 형태의 1차원 광도파로로 단순화 할 수 있으므로 본 논문에서는 1차원 광도파로에 대하여 계산을 수행하였다^[5]. 그림 1에서와 같이 2개의 영역으로 구성된 수직 방향성 결합기에 대한 계산을 전달행렬 방법을 사용하여 cross state와 bar state의 소멸비를 계산하였다.

참고문헌 5에서 볼 수 있듯이 한 쪽 도파로 코어의 굴절율을 다른 쪽 도파로 코어의 굴절율과 약간 다른 값을 갖도록 하면 결합길이에서 30 dB 이상의 소멸비를 갖는 cross state를 얻을 수 있다. 그러나 단일 영역으로 구성된 FVC의 경우는 도파로 코어와 융합 영역(안쪽 클래딩 영역)의 굴절율의 변화에 의하여 2배의 결합길이에서 30 dB 이상의 소멸비를 가지는 bar state를 얻을 수 없다. 따라서 본 논문에서는 그림 1에서와 같이 두 개의 영역으로 분할하여 각 영역에서의 도파로 코어의 굴절율의 조합에 의하여 30 dB 이상의 소멸

비를 갖는 bar state를 얻을 수 있음에 대하여 보였다.

그림 2는 참고문헌 5에서 보인 영역 1의 결합길이 l_1 ($= 51 \mu\text{m}$)에서 소멸비 66 dB의 cross state를 보이는 $n_a(1) = 3.367$ 에 대하여 $n_b(1) = n_b(2) = 3.37$ 이고 세 클래딩 영역의 굴절율이 3.17일 때 길이 $l_1 + l_2 = 103 \mu\text{m}$ 에서 bar state에 대한 소멸비 ($P_a(l_1 + l_2)/P_b(l_1 + l_2)$)를 $n_a(2)$ 의 함수로 계산한 계산 결과이다. 그림 2에서 실선은 향상된 결합모드 이론에 의한 계산 결과이고 작은 원은 BPM 계산 결과로 두 개의 영역으로 구성된 경우도 참고문헌 5에서와 같이 두 방법에 의한 계산 결과가 잘 일치함을 볼 수 있다. 단일 영역으로 구성된 수직 방향성 결합기의 경우 두 도파로가 약간의 비대칭을 갖게 되면 supermode의 우 모드(even mode)와 기 모드(odd mode)의 간섭에 의하여 crosstalk이 최소화 된다. 즉 단일 영역으로 구성된 방향성 수직 결합기의 경우 빛이 입사되는 입력 도파로의 코어의 굴절율이 다른 쪽 도파로 코어의 굴절율 보다 약 0.003정도 작게 되면 30 dB 이상의 소멸비를 가지는 cross state를 얻을 수 있었다^[5]. 단일 영역으로 구성된 FVC의 경우 한 쪽 도파로의 굴절율을 3.37로 고정시켰을 때 결합길이에서 30 dB 이상의 cross state 소멸비를 보이는 굴절율의 범위는 최대 소멸비를 보이는 도파로의 굴절율을 중심으로 $\Delta n_a(1)_{>30 \text{ dB}} \approx 0.0012$ 이다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 cross state의 경우와 같이 두 개의 영역으로 구성된 경우 $l_1 + l_2$ 에서 30 dB 이상의 bar state 소멸비를 갖는 $n_a(2)$ 의 값은 3.37을 중심으로 $\Delta n_a(2)_{>30 \text{ dB}} \approx 0.0012$ 인 것을 볼 수 있다.

영역 1의 출력단에서 cross state가 30 dB 이상의 소멸비를 가지는 도파로 A의 코어의 여러 개의 굴절율, $n_a(1)_{>30 \text{ dB}}$ 에 대하여 영역 2의 출력단에서 bar state의 소멸비가 가장 큰 영역 2의 도파로 A의 코어의 굴절율 값, $n_a(2)_{\text{max, dB}}$, 을 계산한 결과를 표 1에 보인다. 표 1에서 보면 도파로 A의 코어의 굴절율 값에 관계없이 $n_a(2)_{\text{max, dB}} - n_a(1)_{>30 \text{ dB}} \approx 0.003$ 로 일정한 것을 볼 수 있었다. 따라서 그림 2와 같은 경우 영역 1에서의 도파로 A의 코어의 굴절율과 영역 2에서의 도파로 A 또는 B의 코어와의 굴절율 차이가 영역 2에서 bar state의 소멸비에 큰 영향을 주는 것으로 생각할 수 있다. 위와 같은 결과는 영역 1의 출력단의 도파로 A와 B에 존재하는 광 필드의 크기가 영역 2의 입력단의 경계조건이 되기 때문인 것으로 생각된다.

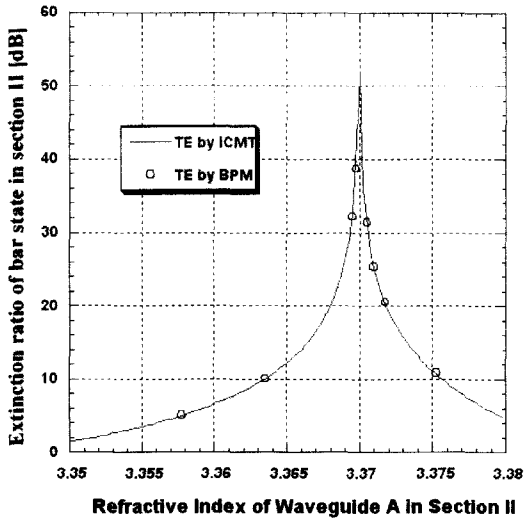


그림 2. 영역 1의 결합길이 $l_1 (=51 \mu\text{m})$ 에서 소멸비 66 dB의 cross state를 보이는 $n_a(1) = 3.367$ 에 대하여 $n_b(1)=n_b(2)=3.37$ 이고 $n_{ca} = n_{cb} = n_{ci} = 3.17$ 일 때 길이 $l_1 + l_2 (=103 \mu\text{m})$ 에서 $n_a(2)$ 의 함수로 계산한 bar state의 소멸비

Fig. 2. The extinction ratio of the bar state as a function of $n_a(2)$ at the length, $l_1 + l_2$, of $103 \mu\text{m}$ when $n_b(1)=n_b(2)=3.37$, $n_{ca} = n_{cb} = n_{ci} = 3.17$ for $n_a(1) = 3.367$ which gives the extinction ratio of the cross state of 66dB at the length, l_1 of $51 \mu\text{m}$.

표 1. 그림 2와 같은 경우에서 영역 1의 도파로 A의 코어의 여러 굴절율 값에 대하여 영역 2의 출력단에서 최대 소멸비를 가지는 bar state를 가지기 위한 영역 2의 도파로 A의 코어의 굴절율

Table 1. The refractive index of the core of waveguide A in section 2 with maximum extinction ratio of the bar state for various values of that in section 1.

영역 I		영역 II	
도파로 A의 코어의 굴절율	cross state 소멸비	도파로 A의 코어의 굴절율	bar state 소멸비
3.3663	30 dB	3.3694	79 dB
3.3667	40 dB	3.3698	86 dB
3.3669	66 dB	3.3699	93 dB
3.3671	40 dB	3.3702	79 dB
3.3675	30 dB	3.3705	96 dB

그림 3은 영역 1이 그림 2와 같고 영역 2의 도파관 A의 코어의 굴절율, $n_a(2)$, 이 3.37 일 때 영역 2의 도파로 B의 코어의 굴절율, $n_b(2)$,를 변화시켜가며 영역 2의 출력단에서 bar state의 소멸비를 도기한 결과이다. 영역 1의 길이와 영역 2의 길이는 그림 2와 각각 같다. 그림 3과 그림 2를 비교하면 그림 3은 굴절율 3.37에 대한 그림 2의 mirror image 임을 볼 수 있다. 따라서 영역 2의 출력단에서 bar state의 소멸비는 영역 2의 도파로 A의 코어의 굴절율과 도파로 B의 코어의 굴절율이 모두 영역 1에 빛이 입사하지 않는 도파로 B의 굴절율과 같은 값을 가질 때 최대값을 가짐을 알 수 있었다. 또한 bar state 소멸비의 크기는 영역 2의 두 도파로 코어의 굴절율 차, $n_b(2) - n_a(2)$, 가 커질수록 감소됨을 볼 수 있었다.

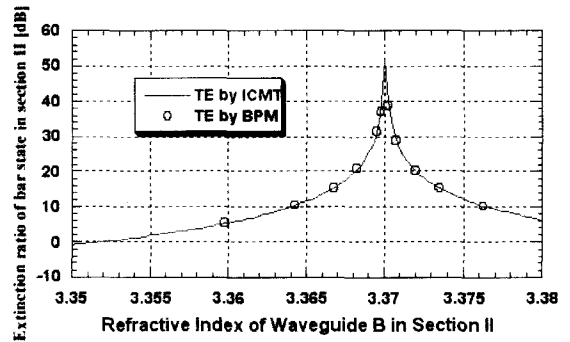


그림 3. $n_b(1)=3.37$ 일 때 길이 $l_1 (=51 \mu\text{m})$ 에서 66 dB의 cross state의 소멸비를 보이는 $n_a(1) = 3.367$ 의 값에 대하여 $n_a(2) = 3.37$ 이고 $n_{ca} = n_{cb} = n_{ci} = 3.17$ 일 때 $l_1 + l_2 (=103 \mu\text{m})$ 에서 $n_b(2)$ 의 함수로 계산한 bar state의 소멸비

Fig. 3. The extinction ratio of the bar state for TE mode as a function of $n_b(2)$ at the length, $l_1 + l_2$, of $103 \mu\text{m}$ when $n_b(1) = 3.37$, $n_a(2) = 3.37$, $n_{ca} = n_{cb} = n_{ci} = 3.17$ for $n_a(1) = 3.367$ which gives the extinction ratio of the cross state of 66 dB at the length, l_1 of $51 \mu\text{m}$.

앞에서 언급한 결과들의 타당성을 검증하기 위하여 빛이 입사되는 영역 1의 도파로 A의 코어의 굴절율을 3.37로 고정시키고 영역 1의 도파로 B의 코어의 굴절율을 변화시켜가며 영역 1의 길이가 결합길이를 가질 때 cross state의 소멸비를 계산한 결과를 그림 4에 보인다. 이 경우 그림 2와 비교했을 때 결합계수가 약간 작기 때문에 결합길이가 $52 \mu\text{m}$ 로서 그림 2보다 약간 길게 된다. 영역 1에서 빛이 입사되는 도파로 A의 코

어의 굴절율 보다 도파로 B의 코어의 굴절율이 약 0.003 정도 큰 3.373 부근에서 30 dB 이상의 cross state 소멸비를 보이는 것을 볼 수 있다. 또한 그림 2의 경우와 같이 30 dB 이상의 cross state 소멸비를 보이는 영역 1에서의 도파로 B의 굴절율 쪽, $\Delta n_b(1) > 30$ dB, 은 가장 큰 cross state 소멸비를 보이는 3.373을 중심으로 약 0.0012 인 것을 볼 수 있다.

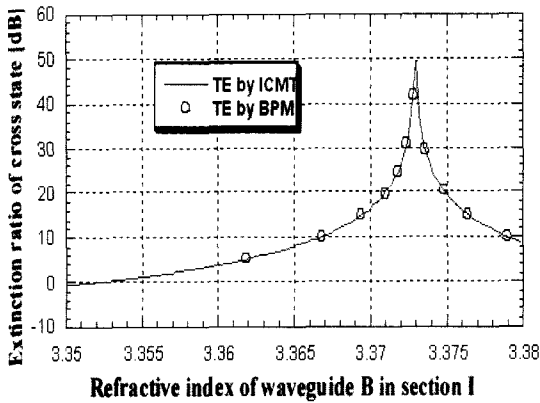


그림 4. 영역 1에서 $n_a(1) = 3.37$ 이고 $n_{ca} = n_{cb} = n_{ci} = 3.17$ 일 때 결합길이에서 $n_b(2)$ 의 함수로 계산한 cross state의 소멸비
 Fig. 4. The extinction ratio of the cross state for TE mode as a function of $n_b(1)$ at the coupling length when $n_a(1) = 3.37$ and $n_{ca} = n_{cb} = n_{ci} = 3.17$.

그림 5는 $n_a(1) = 3.37$ 일 때 길이 $l_1' (= 52 \mu\text{m})$ 에서 89 dB의 cross state의 소멸비를 보이는 $n_b(1) = 3.373$ 의 값에 대하여 $n_a(2)$ 를 3.373으로 고정시키고 $n_{ca} = n_{cb} = n_{ci} = 3.17$ 일 때 $l_1' + l_2' (= 105 \mu\text{m})$ 에서 bar state의 소멸비를 $n_b(2)$ 의 함수로 계산한 계산 결과이다. 그림 5에서도 그림 3과 같이 30 dB 이상의 bar state 소멸비를 갖는 $n_b(2)$ 의 범위는 $n_a(2)$ 와 같은 값을 가지는 3.373을 중심으로 약 0.0012 인 것을 볼 수 있다. 또한 그림 5와 같은 경우에 $n_b(2)$ 를 3.373로 고정시키고 영역 2의 출력단에서 bar state의 소멸비를 $n_a(2)$ 의 함수로 계산한 결과는 예측한 대로 굴절율 3.373에 대하여 그림 4의 mirror image가 됨을 볼 수 있었다.

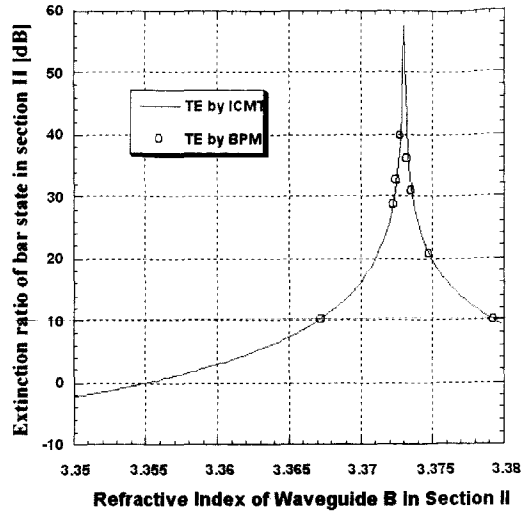


그림 5. $n_a(1) = 3.37$ 일 때 길이 $l_1' (= 52 \mu\text{m})$ 에서 89 dB의 cross state의 소멸비를 보이는 $n_b(1) = 3.373$ 의 값에 대하여 $n_a(2) = 3.373$ 이고 $n_{ca} = n_{cb} = n_{ci} = 3.17$ 일 때 $l_1' + l_2' (= 105 \mu\text{m})$ 에서 $n_b(2)$ 의 함수로 계산한 bar state의 소멸비

Fig. 5. The extinction ratio of the bar state as a function of $n_b(2)$ at the length, $l_1' + l_2'$, of $105 \mu\text{m}$ when $n_a(1) = 3.37$, $n_b(1) = 3.373$, $n_{ca} = n_{cb} = n_{ci} = 3.17$, and $n_a(2) = 3.373$ which gives the extinction ratio of the bar state of 89dB at the length, l_1' of $52 \mu\text{m}$.

IV. 결론

앞에서 제시한 여러 계산 결과들의 분석을 통해 다음과 같이 결론을 내릴 수 있다. 그림 1과 같은 $100 \mu\text{m}$ 이하의 길이를 가지는 두 개의 영역으로 구성된 수직 방향성 결합기의 영역 1의 출력단에서 최대 소멸비를 가지는 cross state는 빛이 입사하는 영역 1의 도파로 코어의 굴절율이 빛이 입사하지 않는 다른 도파로 코어의 굴절율 보다 약 0.003 정도 작은 비대칭성을 가질 때 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 또한 30 dB 이상의 소멸비를 가지는 cross state를 얻을 수 있는, 영역 1의 빛이 입사하는 도파로 코어의 굴절율의 범위는 최대 소멸비를 가지는 굴절율 값을 중심으로 약 0.0012 정도임을 알 수 있었다. 영역 1의 출력단에서 30 dB 이상의 소멸비를 가지는 cross state를 가지는 경우, 영역 2의 출력단에서 최대 소멸비를 가지는 bar state는 영역 2의 두 도파로 코어의 굴절율이 영역 1의 빛이 입사하

지 않는 도파로 코어의 굴절율과 같을 때 발생함을 알 수 있었다. 또한 영역 2의 두 도파로 코어의 굴절율 차이가 증가할수록 bar state의 소멸비는 감소함을 알 수 있었고, 30 dB 이상의 소멸비를 가지는 bar state를 얻을 수 있는 영역 2의 도파로 코어의 굴절율 범위는 최대 소멸비를 가지는 굴절율 값을 중심으로 약 0.0012정도 임을 알 수 있었다.

100 μm 이하의 길이를 가지는 두 개의 영역으로 구성된 수직 방향성 결합기에서 영역 1과 영역 2의 출력단에서 각각 30 dB 이상의 소멸비(또는 작은 crosstalk)를 가지는 cross state와 bar state를 얻을 수 있었다. 전기광학 효과나 또는 free plasma 효과에 의하여 푸전층과 도파로 코어 굴절율을 변화시키면 결합 길이가 변하게 되어 영역 2의 출력단에서 bar state와 cross state를 얻을 수 있다. III-V족 화합물 반도체에서는 이러한 동작을 만족하기 위한 굴절율 변화의 크기를 얻을 수 없으나 소자 길이를 결합길이의 정수배로 증가시키어 설계하면 영역 2의 출력단에서 bar state와 cross state를 얻을 수 있다. 또한 영역 1의 출력단에서 cross state를, 영역 2의 출력단에서 bar state를 얻을 수 있다면 두 영역으로 구성된 수직 방향성 결합기는 30 dB 이상의 소멸비를 가지는 100 μm 이하의 매우 작은 길이를 가지는 2×2 cross bar 광 스위치로 동작할 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] J. E. Zucker, K. L. Jones, M. G. Young, B. I. Miller, and U. Koren, "Compact directional coupler switches using quantum well electrorefraction," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 55, no. 22, pp. 2280-2282, 1989.
- [2] F. Dollinger, M. V. Borcke, G. B. hm, G. Tr nkle, and G. Weimann, "Ultrashort low-loss optical multiquantum-well GaAs/GaAlAs vertical directional coupler switch," *Electron. Lett.*, Vol. 32, No. 16, pp. 1509-1510, 1996.
- [3] Ali Shakouri, Bin Liu, Boo-Gyoun Kim, Patrick Abraham, Andrew W. Jackson, Arthur C. Gossard, and John E. Bowers, "Wafer-Fused Optoelectronics for Switching," *J. Lightwave Technol.*, vol. 16, no. 12, pp. 2236-2242, 1998.
- [4] Bin Liu, Ali Shakouri, P. Abraham, Y. J. Chiu, S. Zhang, and John E. Bowers, "Fused InP-GaAs Vertical Coupler Filters," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 11, no. 1, pp. 93-95, 1999.
- [5] Boo-Gyoun Kim, Ali Shakouri, Bin Liu and John E. Bowers, "Improved Extinction Ratio in Ultra Short Directional Couplers Using Asymmetric Structures," *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 37, no. 8A, pp. L930-L932, 1998.
- [6] S. L. Chuang, *Physics of Optoelectronic Devices*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995.

저 자 소 개

趙 成 贊(正會員)

1991년 2월 숭실대학교 전자공학과 공학사. 1993년 2월 숭실대학교 전자공학과 공학석사. 1995년 9월~현재 숭실대학교 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심 분야 : 광소자, 광통신시스템, 광정보장치 등임



薛 鍾 哲(正會員)

1997년 2월 숭실대학교 물리학과 이학사. 1997년 9월~현재 숭실대학교 대학원 전자공학과. 주관심 분야 : 광소자, 광통신시스템, 광정보장치 등임

金 富 均(正會員)

1979년 2월 서울대학교 전자공학과 공학사. 1981년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사. 1989년 8월 University of Southern California 공학박사. 1993년 6월~8월 IBM Almaden 연구소 방문연구원. 1997년 2월~1998년 2월 University of Claifornia at SantaBarbara 방문 교수. 1981년 3월~현재 숭실대학교 전자공학과 부교수. 주관심 분야 : 광소자, 광통신시스템, 광정보장치 등임