

방향성 결합기의 성능 및 허용오차 개선을 위한 신제안

최철현 · 박순룡 · 오범환[†]

인하대학교 전자 전기 컴퓨터 공학부

④ 402-751 인천광역시 남구 용현동 253번지

(2000년 6월 5일 받음, 2000년 11월 1일 수정본 받음)

방향성 결합기의 성능개선을 위해 입사광과 결합기 도파모드와의 전이계수를 조절하여 C_{V_e} 와 C_{V_o} 의 차이, $C_{V_e} - C_{V_o}$ 를 줄이므로써 소멸비를 향상시키는 방안을 제안한다. 입력 도파로와 결합기의 접합부에서 입력 도파로를 수평 이동시키는 방식과 곡선형 입력 도파로의 도파모드 편향성을 이용한 방식을 혼합하여 적용해서 전이계수와 손실을 최적화하고 소멸비와 제작상의 허용오차를 월등히 개선한다. 주어진 도파로 구조의 경우, 유효굴절률법과 MPA를 사용하여 분석한 결과, 곡률 반경이 300 μm이고 접합위치의 수평 이동이 0.1 μm인 입력 도파로의 채택으로 최대 소멸비는 -39 dB로 낮출 수 있으며 -30 dB 소멸비 기준에서의 방향성 결합기의 결합길이에 대한 제작 허용오차 폭은 57.19 μm에 이르게 되었다. 이는 수평 이동을 고려하지 않은 직선형 입력 도파로에 비하여, 최대 소멸비의 향상은 6 dB, 제작 허용오차 폭은 13.9 μm 향상시킨 결과이다.

OCIS codes : 130.0130, 130.2790, 130.3120.

I. 서 론

방향성 결합기(Directional Coupler)는 입사된 광신호를 특정한 경우와 조건에 따라 다른 쪽 도파로로 전이시키는 소자로써, 광통신 시스템의 집적광학회로를 구성하는데 있어서 중요한 역할을 한다.^[1,2] 특히, 광에너지의 전이 및 결합 특성은 광스위치, 파워 분배기, 필터, 변조기 및 광결합/분리기 등에 널리 이용되고 있다.^[3-5] 나용도 집적광학회로 소자로서의 방향성 결합기는 소형화, 저손실화, 편광 독립성과 고소멸비 등의 특성이 계속 개선되어야 하며, 이종 도파로의 선택이나 결합 구조의 효율적 변형을 통한 최적화 노력 등이 활발하게 연구되어 왔다.^[6,7] 소멸비 특성의 열화는 결합기 내의 두 기본 도파모드로의 전이계수가 약간 다른 것에 기인한다. 이러한 경우 근사적으로는 결합길이를 진행한 후 대부분의 광에너지가 출력 도파로 쪽으로 전이되지만, 두 모드 사이의 불완전한 상쇄로 인하여 입력 도파로 쪽에도 잔여 광에너지가 남아 있게 되며, 이로 인해 소멸비는 나빠지며 시스템의 요구성능을 맞추기 위한 제작 허용오차는 작아지게 된다.^[8,9] 또한, 소자 제작 공정에서 도파로 폭의 조절은 0.1 μm 정도에 지나지 않으므로 이로 인한 도파로의 특성변화^[10]와 그로 인한 설계변수의 제작 허용오차는 크지 않으며, 따라서 실제 소자의 구현이 쉽지 않다.^[8]

본 고에서는 이러한 최적화 노력의 하나로 이종 도파모드의 최적결합을 위한 두 가지 방안의 혼용을 제안하였다. 즉, 입력 도파로를 수평 이동하여 모드결합을 조절하는 방식과 곡선형 도파모드의 광분포 편향을 이용하여 모드결합을 조절하는 방식을 적절히 혼용하여 적용함으로써, 제작 공정상의 잇점과 편의성을 주는 대칭형 도파로 구조를 사용하면서도 손실은 줄이고 소멸비 특성과 제작 허용오차는 월등히 개선하였다. 두 방

식의 혼용 효과를 알아보기 위해 InP 계열의 도파로 구조를 선택하여 그림 1(a)와 같은 3차원 구조에 대해서 유효굴절률법(Effective Index Method)을 적용하여 2차원 구조로 대치한 후 MPA(Modal Propagation Analysis)를 사용하였다.^[11] 그림 1(b)는 결합기내의 두 도파모드와 입력 도파모드의 전기장 분포 및 일반적인 접합방식일 때의 두 전이계수를 나타내며, 이들이 서로 약간의 차이가 있음을 나타내고 있다. 이때, 일반적인 설계에 비하여 제안된 혼용방식 설계를 통하면 두 전이계수의 차이가 감소되며 소멸비와 제작 허용오차를 개선시킬 수 있는 것을 확인하였다.

II. 방향성 결합기의 해석방법

방향성 결합기에서 결합길이는 광에너지의 스위칭 위치를 나타내는 중요한 변수로써,^[7,8] 방향성 결합기의 두 규격화 도파모드로 표현하면 아래의 식 (1)과 같이 정의된다.

$$L_c = \frac{\lambda}{2(N_e - N_o)} \quad (1)$$

여기서 N_e , N_o 는 방향성 결합기내의 우함수, 기함수 규격화 도파모드의 굴절률이고, λ 는 진공중에서 빛의 파장이다. 해석적으로 N_e , N_o 를 얻기 위해서 다층 구조 이론(Multilayer Stack Theory)을 방향성 결합기에 적용하여 근사시킨다. 다층 구조의 유효근사를 위해 임의의 i 층과 $i-1$ 층의 관계를 아래의 식 (2)와 같이 특성 행렬의 식으로 표현할 수 있음이 잘 알려져 있다.^[11]

$$\begin{bmatrix} U_{i-1} \\ V_{i-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\chi_i x) & \frac{j}{\chi_i} \sin(\chi_i x) \\ j\chi_i \sin(\chi_i x) & \cos(\chi_i x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_i \\ V_i \end{bmatrix} \quad (2)$$

[†]E-mail: obh@inha.ac.kr

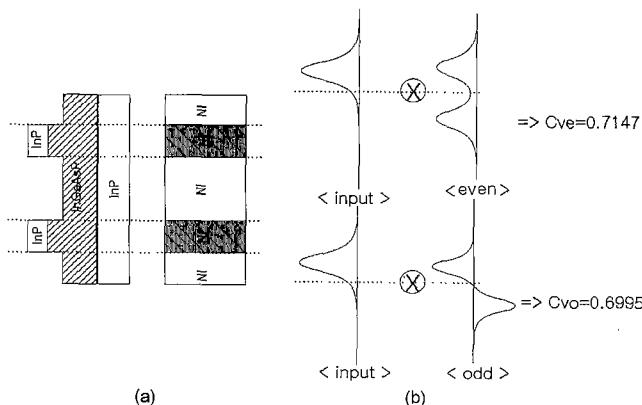


그림 1. EIM(Effectiver Index Method)을 이용한 3차원 광도파로의 2차원 모식화와 기본 모드의 결합계수 비교. (a) 3차원 구조의 2차원 모식화, (b) 기본 모드의 결합계수 비교.

여기서, U 와 V 는 각각 전기장 벡터와 자기장 벡터의 접선 성분이다. 또 χ_i 는 횡방향의 전파상수이며, $\chi_i^2 = n_i^2 k^2 - \beta^2$ 로 기술된다. 식 (2)는 임의의 한 층과 그 다음 층과의 관계를 표현한 식이므로, 이 관계를 기판과 외부 굴절률층에 적용하면 식 (3)으로 표현할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} U_0 \\ V_0 \end{bmatrix} = \left\{ \prod_{i=1}^n \begin{bmatrix} \cos(\chi_i x) & \frac{j}{\chi_i} \sin(\chi_i x) \\ j\chi_i \sin(\chi_i x) & \cos(\chi_i x) \end{bmatrix} \right\} \begin{bmatrix} U_n \\ V_n \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_n \\ V_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서 첨자 0, n 은 각각 기판과 외부 굴절률층이다. 식 (3)에서 특성 행렬 성분의 분산 관계를 도파조건으로부터 구할 수 있으며 아래의 식 (4)와 같이 표현된다.

$$j(\gamma_s m_{11} + \gamma_c m_{22}) = m_{21} - \gamma_s \gamma_c m_{12} \quad (4)$$

여기서 $\gamma_{s,c}$ 는 횡방향의 감쇠상수이며, $\gamma_{s,c}^2 = \beta^2 - (n_{s,c}k)^2$ 로 기술된다. 첨자 s 와 c 는 각각 기판과 외부 굴절률층을 나타낸다. 이와 같이 얻어진 식 (3)과 식 (4)는 방향성 결합기의 규격화 도파모드의 굴절률에 대한 변수식으로 요약된다. 따라서, 식 (3)과 식 (4)를 이용하여 두 규격화 도파모드의 굴절률($N_{e,o}$)을 얻을 수 있으며, 이를 식 (1)에 적용하면 방향성 결합기의 결합길이를 얻을 수 있다. 또 앞에서 얻어진 우함수, 기함수 규격화 도파모드와 입력 도파로의 규격화 도파모드(단일 모드 유지)에 대하여 아래의 식 (5)에서의 중복적분(overlap integration)을 통하여 우함수, 기함수 규격화 도파모드의 전이 계수(C_{ve} , C_{vo})를 계산할 수 있다.

$$C_{ve,o} = \frac{\int E_{e,o} dx \int \Psi ds}{\sqrt{\int E_{e,o}^2 ds} \sqrt{\int \Psi^2 ds}} \quad (5)$$

여기서 E 는 방향성 결합기에서 두 도파모드의 전기장 분포이며, 첨자 e 와 o 는 각각 우함수, 기함수를 나타내고, Ψ 는 입력 도파모드의 전기장 분포이다. 또한 분모의 두 항은 각 전기장 분포의 규격화를 위한 항이다.

III. 도파모드 변화를 통한 성능 최적화와 개선

앞에서 언급한 것처럼, 방향성 결합기의 제작 허용오차가 작은 것은 결합기내에 존재하는 두 도파모드인 우기함수 모드 전이계수의 비율에 기인하는 바가 크다. 이를 개선하기 위해서는 두 도파모드의 전이계수를 균일화하는 작업이 필요하다. 여기서는 입력 도파로의 접합부에서 입력 도파로의 수평 이동과 곡선형 입력 도파로를 통해, 방향성 결합기의 제작 허용오차를 개선하고자 한다. 그럼 2는 2차원 구조로 대치된 광도파로의 개념도이며, 본 구조에 대한 구조 변수, 물질 변수와 결합길이 등을 표 1에 요약하였다.

두 전이계수 차이로 인한 결합기의 성능 저하를 개선하기 위하여, 그림 2(a)에서 보인 바와 같이, 입력 도파로와 방향성 결합기의 접합부에서 통상적인 접합 방식과는 다르게 입력 도파로의 접합 위치를 방향성 결합기 외부(-x 방향)로 이동시켰고, 접합위치의 수평 이동과 같은 도파모드의 변화를 주기 위해 그림 2(b)와 같은 곡선형 입력 도파로를 사용하였다. 이 때 곡률 방향은 방향성 결합기의 내부 방향으로 주어, 도파모드의 최대점이 -x 방향으로 이동하게 하였다. 이와 같이 입력 도파모드를 변화시키는 이유는 결합기내에서 기함수 모드보다 우함수 모드의 전이계수를 감소시키기 두 모드 사이의 전이계수 차이를 감소시키기 위해서이다. 위의 효과를 그림 3을 통해 확

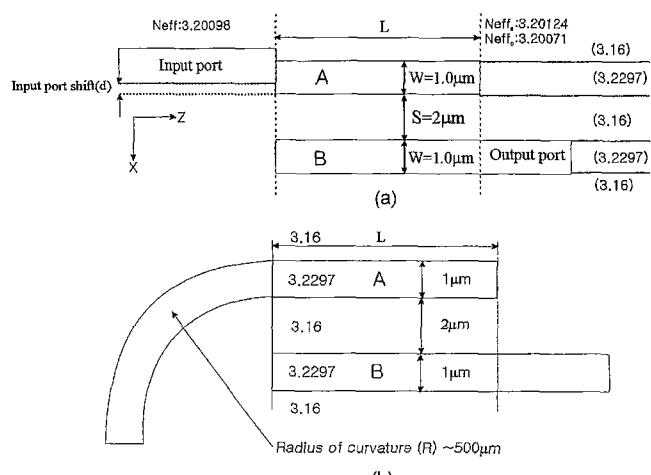


그림 2. 계산에 사용된 구조 개요도. (a) 직선형 입력 도파로의 접합위치 어긋남 설계, (b) 곡선형 입력 도파로의 곡률 인가 설계.

표 1. 계산에 사용된 파장 특성 변수 및 결합길이 요약표

λ (wavelength)	1.55 μm
Refractive index of core (n1)	3.2297
Refractive index of cladding (n2)	3.16
Effective index (even mode)	3.20124
Effective index (odd mode)	3.20071
Effective index (input waveguide)	3.20098
Width of core (W)	1 μm
Separation between the guides (S)	2 μm
Width of core (input waveguide)	1 μm
Coupling length (Lc)	1.465 mm

인할 수 있었다.

두 도파로 사이(그림 3, $-1 \mu\text{m}$ 와 $1 \mu\text{m}$ 사이(x 축))에서 결합기내의 우함수 모드 전기장 분포는 기함수 모드보다 큰 값을 가져, 두 전이계수는 통상적인 접합의 직선형 입력 도파로(그림 3, 굵은 실선 —)일 경우에 서로 일치하지 않게 된다. 하지만, 첫 번째 제안된 방식을 적용하면 입력 도파모드의 전기장 분포가 결합기 외부($-x$ 축 방향)로 이동되어, 두 도파로 사이에서 입력 도파모드의 전기장 분포가 감소하여 전이계수 차

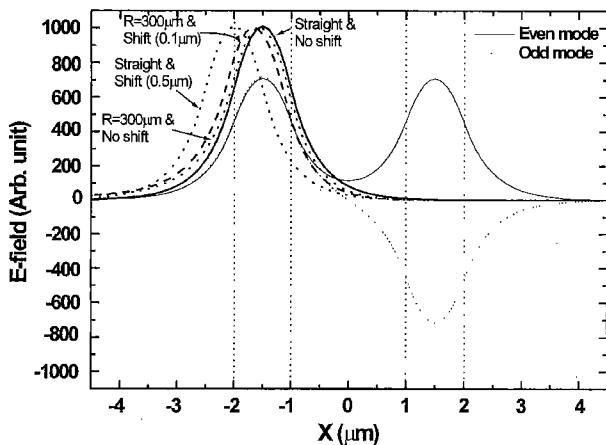


그림 3. 방향성 결합기의 전기장 분포 형태와 입력 도파모드 변형에 따른 전기장 분포 형태.

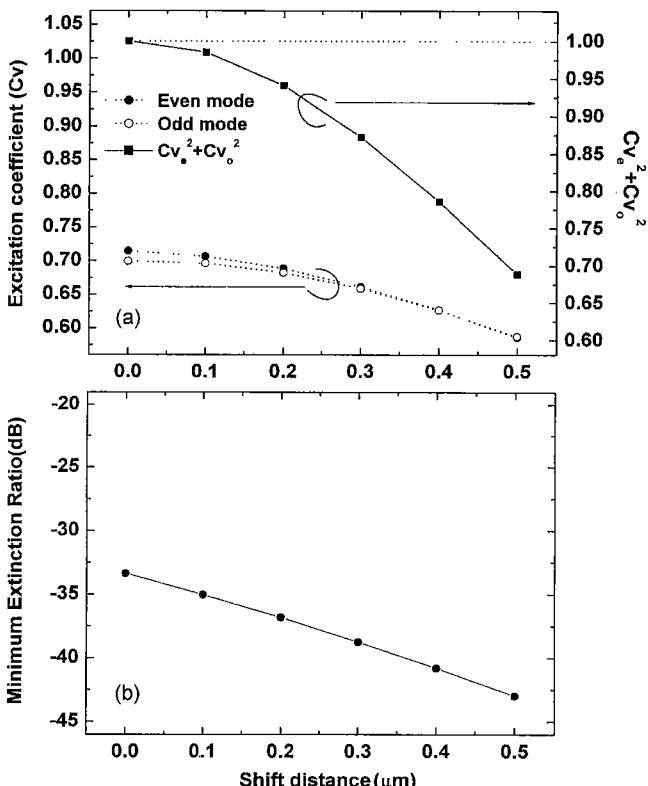


그림 4. 직선형 입력 도파로의 접합위치 어긋남에 따른 특성 변화.
(a) even mode와 odd mode의 결합계수 변화와 총 결합효율의 변화, (b) cross state의 서열비 개선.

이는 감소하게 된다. 또한, 곡선형 입력 도파로에서도 도파모드의 편향성으로 전기장 분포는 결합기 외부($-x$ 축 방향)로 이동되어(그림 3, 굵은 점선...) 첫 번째 제안된 방식과 같이 전이계수 차이를 감소시킬 수 있다. 이렇듯 비슷한 작용을 하는 두 방식 모두 어느 한도 이상으로 적용하면 전이효율이 급감하는 경향을 보이지만 적절한 혼합작용은 전이효율을 감소시키지 않고 효과적인 계수간 차이의 균일화와 성능향상을 가져올 수 있다. 이를 위해 우선 제안된 두 방식에 대하여 전이계수와 소멸비 및 제작 허용오차 변화에 대하여 자세히 알아보자 한다.

(1) 접합부의 수평 이동과 곡률 반경에 따른 모드특성 분석

그림 4(a)는 입력 도파로의 수평 이동거리에 따른 두 전이계수(좌측 y 축)와 전이효율(우측 y 축)을 계산한 결과이다. 수평 이동이 없는 일반적인 접합방법(수평 이동거리 : $0.0 \mu\text{m}$)에서는 앞에서 언급한 것처럼 두 전이계수(그림 4(a), 우함수:닫힌 원 ●, 기함수:열린 원 ○) 차이가 있으며, 수평 이동거리 증가에 따라 이들의 차이는 감소하고 있다. 뒤의 결과를 먼저 언급하면, 두 전이계수 차이의 감소는 소멸비와 유효공차를 향상시키는 결과를 가져온다. 수평 이동이 없는 일반적인 접합방법(그림 3, 굵은 실선 —)인 경우, 입력 도파로의 전기장 분포 중심이 결합기내의 두 전기장 분포 중심과 거의 일치하여, 그림 4(a)에서 일반적인 접합방법(수평 이동거리 : $0.0 \mu\text{m}$)인 경우, 전이손실이 거의 없는 것으로 계산되었다. 수평 이동거리가 증가함에 따라, 입력 도파모드의 전기장 분포 중심(그림 3, 점선 ----)이 결합기내의 두 전기장 분포 중심과 멀어지기 때문에 전이효율은 감소하게 된다. 이와 같이 수평 이동거리 증가에 따른 전이효율(그림 4(a), 닫힌 정사각형 ■)의 변화를 그림 4(a)를 통하여 확인하였다. 여기에서 각 전이계수는 규격화된 전기장에 대한 전달계수이고, 이를 제곱하여 합하여 전이된 강도의 효율을 의미하는 전이효율을 정의하였다. 이때 전송손실(dB)은 $-20 \log(\text{전이효율})$ 로 계산되며 0.891 의 전이효율은 약 0.5 dB 의 전송손실이다. 수평이동거리를 $0.1 \mu\text{m}$ 로 놓으면 전이효율은 0.98 , $0.2 \mu\text{m}$ 로 놓으면 전이효율은 0.94 정도가 되는 것을 알 수 있으며 이는 각각 0.09 , 0.27 dB 의 전송손실을 의미하고, $0.3 \mu\text{m}$ 정도까지의 수평이동은 약 0.5 dB 정도의 미미한 전송손실이 유발되는 것으로 계산된다. 그림 4(b)는 수평이동거리에 따른 최대 소멸비의 변화곡선으로써, 수평 이동거리 증가에 따라 최대 소멸비도 증가하는 것으로 계산되었다. 그림 4(a), (b)의 결과로부터, 입력 도파로의 수평 이동은 두 전이계수 차이를 감소시켜 최대 소멸비를 향상시킬 수 있었으나, 그 대신에 전이효율을 감소시켰다. 이에 대하여 우리는 수평 이동보다 전이효율을 향상시키면서 이와 같은 효과를 얻기 위해서, 곡선형 도파로의 도파모드 편향성을 이용하였다.

곡선형 입력 도파로에서는 곡률 반경에 따른 두 전이계수와 소멸비의 변화를 알아보았다. 그림 5(a)는 곡률 반경에 따른 두 전이계수(좌측 y 축)와 전이효율(우측 y 축) 변화를 계산한 결과로써, 곡률 반경이 작아지면 두 전이계수(그림 5(a), 우함수:닫힌 원 ●, 기함수:열린 원 ○) 차이가 감소함을 알 수 있다.

이러한 이유로는 곡률 반경이 감소할수록 도파모드의 편향

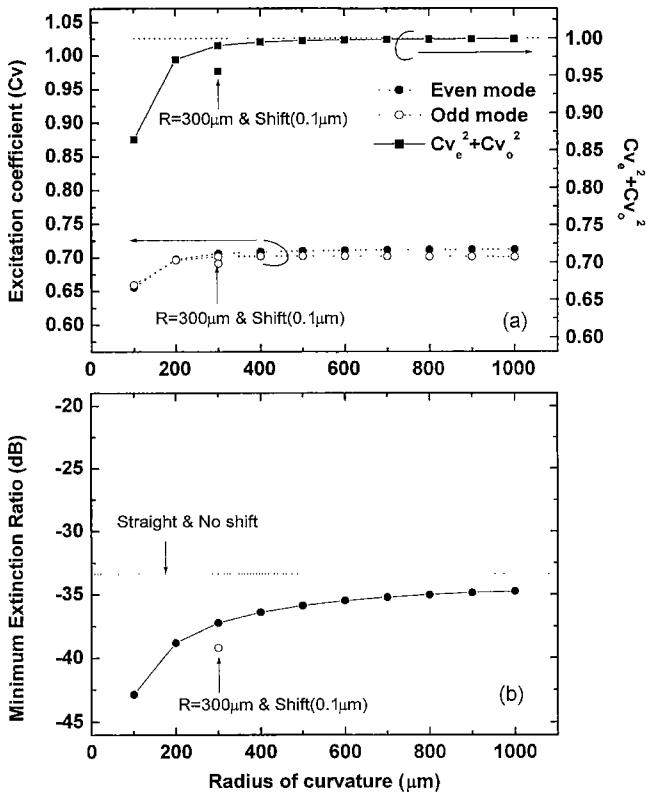


그림 5. 곡선형 입력 도파로의 곡률 인가에 따른 특성 개선. (a) even mode와 odd mode의 결합계수 변화와 총 결합 효율의 변화, (b) cross state의 소멸비 개선.

성이 증가하게 되어, 전기장 분포를 도파로 외부로 이동시키기 때문이다. 이는 수평 이동과 같은 효과를 준다. 이와 관련하여 곡률 반경이 작아지면, 같은 이유로 전이효율도 감소한다. 그림 5(a)(닫힌 정사각형 ■)에서 이를 확인할 수 있으며, 수평 이동보다 전이효율의 감소는 적다. 또한, 곡률 반경이 300 μm 보다 작아지면 전이효율이 급격히 감소하고 있다. 본 구조에 있어서 곡률 반경의 임계점은 300 μm 로써, 곡률 반경이 300 μm 보다 작아지면 도파로의 모드가 도파모드(guided mode)가 아닌 방사모드(radiation mode)로 전환되기 때문에 전이효율이 급격히 감소하게 된다. 그림 5(b)는 곡률 반경에 따른 최대 소멸비의 변화곡선으로써, 곡률 반경이 작아짐에 따라 최대 소멸비가 증가하고 있으며, 곡선형 입력 도파로의 채택은 수평 이동이 없는 일반적인 직선형 도파로에 비하여 최대 소멸비가 향상됨을 알 수 있다. 또한 임계 곡률 반경인 300 μm 에서, 최대 소멸비는 -37 dB까지 낮출 수 있어 일반적인 직선형 도파로에 비하여 약 4 dB의 최대 소멸비 향상을 가져올 수 있다. 앞의 두 방식에서, 곡선형 입력 도파로는 입력 도파로의 수평 이동에 비하여 전이효율을 높일 수 있으나, 최대 소멸비의 향상은 이보다 적기 때문에, 여기서는 두 방식을 함께 적용하여 이를 보완하고자 한다. 곡률 반경이 300 μm , 수평 이동거리가 0.1 μm 인 입력 도파로일 때, 두 전이계수(그림 5(a), 우함수:날개의 닫힌 원 ●, 기함수:날개의 열린 원 ○), 전이효율(그림 5(a), 날개의 닫힌 정사각형 ■), 최

표 2. 입력 도파모드의 변화에 따른 cross state의 소멸비와 유효공차. (a) 접합위치 어긋남이 없는 직선형 도파로, (b) 0.1 μm 의 접합위치 어긋남이 있는 직선형 도파로, (c) 접합위치 어긋남이 없으며 곡률 반경이 30 μm 인 곡선형 도파로, (d) 0.1 μm 의 접합위치 어긋남이 있으며 곡률 반경이 300 μm 인 곡선형 도파로

input waveguide	extinction ratio (dB)	L_{20} width (μm)	fabrication tolerance (%)	L_{30} width (μm)	fabrication tolerance (%)
Straight & No shift (a)	-33.37	182.43	12.46	43.29	2.96
Straight & Shift (0.1 μm) (b)	-35.03	185.99	12.70	49.39	3.37
R=300 μm & No shift (c)	-37.24	186.39	12.73	53.49	3.65
R=300 μm & Shift(0.1 μm) (d)	-39.19	192.09	13.12	57.19	3.91

대 소멸비(그림 5(b), 날개의 열린 원 ○)를 각각 그림 5(a), (b)에 나타내었다. 이 구조에서, 전이효율과 최대 소멸비는 각각 0.956, -39 dB로 계산되었다. 입력 도파로의 수평 이동에서 전이효율이 0.956이면 최대 소멸비는 -36 dB이며, 곡선형 입력 도파로에서 전이효율이 0.956이면 최대 소멸비는 -39 dB이나, 이 때에는 도파로의 모드가 방사모드이어서 사용할 수 없는 경우이다. 위의 결과를 통하여 두 방식을 함께 적용한 경우, 0.956의 전이효율에서 최대 소멸비는 입력 도파로의 수평 이동방식과 곡선형 입력 도파로의 방식을 각각 적용하였을 때보다 좀 더 향상됨을 확인하였다.

(2) 도파모드 변화에 따른 제작 허용오차의 변화

앞에서 입력 도파로의 수평 이동과 곡선형 입력 도파로를 함께 적용한 경우에 전이효율 당 최대 소멸비가 가장 높은 것으로 계산되었다. 이와 관련하여 두 방식을 함께 적용한 경우와 한 방식만을 각각 적용한 경우, 다음의 입력 도파로 구조를 가진 방향성 결합기에서 각 구조의 제작 허용오차를 알아보았다.

구조(a): 수평 이동이 없는 일반적인 직선형 입력 도파로

구조(b): 수평 이동(수평 이동거리:0.1 μm)만 적용한 직선형 입력 도파로

구조(c): 수평 이동이 없는 곡선형(곡률반경:300 μm) 입력 도파로

구조(d): 수평 이동(수평 이동거리:0.1 μm)이 있는 곡선형(곡률반경:300 μm) 입력 도파로

위의 네 구조에 대하여 -20 dB와 -30 dB 기준에서 제작 허용오차 폭과 앞에서의 최대 소멸비를 각각 표 2에 요약하였다. 표 2에서 구조 (b), (c), (d)의 결합길이 제작 허용오차 폭은 수평 이동이 없는 일반적인 직선형 입력 도파로인 구조 (a)에 비하여 모두 향상되었다. 이러한 이유는 구조(a)보다 구

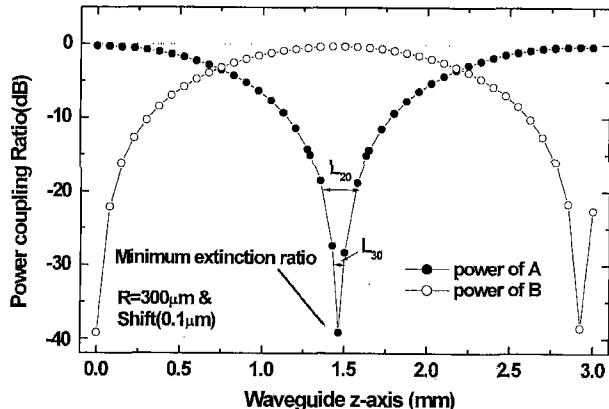


그림 6. 입력 도파로의 접합위치 이동이 $0.1 \mu\text{m}$ 이며 곡률 반경이 $300 \mu\text{m}$ 인 방향성 결합기에서 진행거리에 따른 광에너지의 전이비율 변화 곡선.

조(b), (c), (d)에서 두 전이계수 차이가 감소하였기 때문이며, 이는 소멸비 뿐만 아니라 허용오차폭도 향상시켰다. 여기서도 두 방식을 함께 적용한 구조(d)에서 -20 dB 와 -30 dB 기준의 결합길이 제작 허용오차 폭이 한 방식만을 각각 적용한 구조(b), (c)에 비하여 더 향상된 결과를 보인다. 그럼 6은 구조(d)에 대하여 진행거리에 따른 광에너지의 결합비 변화로써, 닫힌 원(•)은 입력 도파로에서 광에너지의 결합비이며, 열린 원(○)은 출력 도파로에서 광에너지의 결합비를 나타낸다. 여기서 사용한 방향성 결합기의 도파구조가 대칭형이므로, 입력과 출력 도파로에서 광에너지 결합 비율이 균일함을 보인다. 또한, 실제 소자를 제작하기 위한 제작 공정상에서, 제안된 방식에 의한 제작 허용오차폭 향상의 유용성을 확인하였다. 공정상의 여러 가지 변수로 도파로의 폭이 $1.1 \mu\text{m}$, 두 도파로 사이의 간격이 $1.9 \mu\text{m}$ 로 변하였을 때, 결합길이는 1.504 mm 로 계산되며, 도파로의 폭이 $0.9 \mu\text{m}$, 두 도파로 사이의 간격이 $2.1 \mu\text{m}$ 로 변하였을 때, 결합길이가 1.380 mm 로 계산되었다. 여기서 설계된 결합길이는 1.465 mm 로, 도파로 폭이 $0.1 \mu\text{m}$ 증가하였을 때와 도파로 폭이 $0.1 \mu\text{m}$ 감소하였을 때를 비교하면, 결합길이는 각각 $+39 \mu\text{m}$, $-85 \mu\text{m}$ 의 변화를 보인다. 이와 같이 두 도파로의 폭과 사이 간격의 제작오차로 결합길이가 변하면, 광에너지의 결합 및 전이 위치가 변화되고 설계와 다르므로 제작된 소자의 성능이 저하된다. 이때 제안된 방법으로 도파모드의 조절을 통하여 제작 허용오차까지 증가되면, 결합길이의 변화로 인한 성능 저하를 최대한 방지하는 설계까지 가능한 것으로 기대된다.

IV. 결 론

방향성 결합기에서, 입사된 도파모드와 결합기내의 두 모드

사이의 전이계수 차이는 입사된 광에너지의 결합효율을 저하시킨다. 본 논문에서는 두 전이계수 차이를 감소시키기 위하여, 입력 도파로의 접합위치 수평 이동과 곡선형 입력 도파로를 제안하였다. 수평 이동거리를 증가시키고 곡률 반경을 감소시킬수록, 두 전이계수 차이가 감소하였으며, 이는 최대 소멸비와 한계 허용오차를 증가시켰다. 곡률 반경이 $300 \mu\text{m}$, 수평 이동이 $0.1 \mu\text{m}$ 인 입력 도파로의 채택으로, 최대 소멸비는 -39 dB 로 낮출 수 있으며 -30 dB 소멸비 기준에서의 결합길이 제작 허용오차 폭은 $57.19 \mu\text{m}$ 에 이르게 되었다. 이는 수평 이동을 고려하지 않은 직선형 입력 도파로에 비하여, 최대 소멸비의 향상은 6 dB , 결합길이의 설계 제작 허용오차 폭의 향상은 $13.9 \mu\text{m}$ 이다. 이로써, 입력 도파로의 접합위치 수평이동(lateral shift) 및 곡선형 도파모드의 편향 개념을 통하여 방향성 결합기의 소멸비와 허용오차를 향상시키고, 한계 공정오차의 향상으로 인한 방향성 결합기의 성능 개선을 가져오는 새로운 설계 개념을 제안하고 이를 계산상으로 검증하였다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부의 우수 대학원 지원 사업의 일환으로 2000년 인하대학교 교내 연구비의 지원과 과학 기술처의 중점국가 연구개발 사업의 차세대 포토닉스 연구지원으로 수행되었으며, 교육부의 두뇌 한국 21 지원과 한국과학재단 특정기초연구(1999-2-302-012-5) 사업의 부분적인 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] W. B. Jones Jr. (*Harcourt Brace Jovanovich*, Orlando, FL 1988).
- [2] H. S. Hinton (*Plenum*, New York, 1998).
- [3] H. F. Taylor, *J. Appl. Phys.* **44**, 3257 (1974).
- [4] R. C. Alferness and R. V. Schmidt, *Appl. Phys. Lett.* **33**, 161 (1978).
- [5] N. Ofusa, T. Saito, T. Shimoda, T. Hanada, Y. Urino, M. Kitamura, *IEICE Trans. Electron.* **E82-C**(8), (1999).
- [6] Boo-Gyoun Kim, Ali Shakouri, Bin Liu, and John E. Bowers, *Jpn. J. Appl. Phys.* **37**, L930 (1998).
- [7] P. B. Hansen, A. Kloch, T. Aakjær, and T. Rasmussen, *Optics Communications* **119**, 178 (1995).
- [8] M. Rajarajan, B. M. A. Rahman, and K. T. V. Grattan, *J. Lightwave Technol.* **17**(2), 243 (1999).
- [9] K. Chen and S. Wang, *Appl. Phys. Lett.* **44**, 166 (1984).
- [10] 박순룡, 오범환, *한국광학회지*, **10**(4), 342 (1999).
- [11] T. Tamir, *Guided-wave Optoelectronics*, 2nd edition (Springer-Verlag, Berlin, 1990), Chapter 3.

Improved design of a directional coupler by a novel concept

Chul Hyun Choi, Soon Ryong Park, and Beom-hoan Oh[†]

School of Electrical and Computer Engineering, Inha University, Inchon 402-751, KOREA

[†]E-mail: obh@inha.ac.kr

(Received June 5, 2000 ; Revised manuscript received November 1, 2000)

We propose a novel design concept to improve extinction ratio by minimizing $C_{V_e} - C_{V_o}$. Improvements of loss and fabrication error limit are also obtained by this hybrid design of the lateral shift and curved waveguide to control transfer coefficients, C_{V_e} and C_{V_o} . The concept of lateral shift merges two transfer coefficients, and additional curved waveguide controls mode profile asymmetrically to help this minimizing effect of $C_{V_e} - C_{V_o}$ with no serious decrease in transfer efficiency. For a given InP based waveguide structure, the mode propagation analysis with an effective index approximation provided a calculational improvement of extinction ratio to -39 dB and fabrication error limit to $57.19 \mu\text{m}$, with a structure design of $300 \mu\text{m}$ waveguide curvature and $0.1 \mu\text{m}$ lateral shift.

OCIS codes : 130.0130, 130.2790, 130.3120.