

Double-Sided Deep-Ridge 도파관 구조 수직 방향성 결합기의 날개구조부 폭과 두께가 편광 특성에 미치는 영향

정병민 · 윤정현 · 김부균[†]

송실대학교 정보통신전자공학부
Ⓣ 156-743 서울시 동작구 상도 5동 1-1

(2004년 4월 20일 받음, 2004년 7월 2일 수정본 받음)

Double-Sided Deep-Ridge(DSDR) 수직 방향성 결합기의 날개구조부 폭과 두께가 편광에 따른 결합길이에 미치는 영향에 관하여 연구하였다. 날개구조부가 존재하지 않는 DSDR 수직 방향성 결합기는 편광에 무관한 결합길이를 가질 수 없음을 볼 수 있었다. 일정한 날개구조부 두께에 대하여 날개구조부 폭이 특정 길이 이상이 되면 TE 모드와 TM 모드의 결합길이의 변화는 거의 없으며 또한 두 모드의 결합길이의 차이도 거의 발생하지 않음을 볼 수 있었다. 따라서 편광에 무관한 결합길이를 가지는 DSDR 수직 방향성 결합기를 구현하기 위한 최소 날개구조부 폭이 존재함을 볼 수 있었다. 이러한 최소 날개구조부 폭은 같은 코어 두께에 대해서는 날개구조부 두께가 증가할수록, 같은 날개구조부 두께에 대해서는 코어 두께가 감소할수록 증가함을 볼 수 있었다. 또한 최소 날개구조부 두께는 코어의 두께에 의하여 결정됨을 볼 수 있었고 코어의 두께가 증가할수록 최소 날개구조부 두께는 감소함을 볼 수 있었다.

주제어 : Vertical directional coupler, deep-ridge waveguide, double-sided process, polarization independent characteristics, coupling length.

I. 서 론

방향성 결합기는 광통신 시스템에 사용되는 광집적회로(Photonic Integrated Circuit, PIC)를 구성하는 중요한 소자이기 때문에 많은 연구가 진행되어왔다. 그 중 융합 수직 방향성 결합기(Fused Vertical Coupler, FVC)는 입력단과 출력단의 각 포트들을 광섬유와 결합이 용이하도록 쉽게 분리할 수 있고, 결합길이가 짧기 때문에 집적화 할 경우 큰 scalability를 얻을 수 있고, 제작공차가 비교적 크고 퓨전층의 조성비와 두께를 임의로 바꾸어 줄 수 있어 설계 시 많은 자유도가 주어지기 때문에 최근에 많은 연구가 수행 되고 있다.^[1-4] 현재까지 융합 수직 방향성 결합기 구조를 이용하여 구현한 소자로는 파장 다중화기^[5], 광 add/drop multiplexer^[6], 와 융합 수직 방향성 결합기 필터 및 스위치^[7], 등이 있다.

최근에 우리는 방향성 결합기의 결합길이가 편광에 따라 달라지는 단점을 극복하기 위하여 deep-ridge^[8-11] 도파관 구조에 제작이 용이한 double-sided process^[12]를 이용하여 구현할 수 있는 Double-Sided Deep-Ridge(DSDR) 도파관 구조를 가지는 수직 방향성 결합기(DSDR 수직방향성 결합기)를 제안하고 편광에 무관한 결합길이를 매우 높은 소멸비를 가지는 구조 파라미터와 물질 파라미터를 제시하였다. 또한 여러 가지 구조 파라미터들이 결합길이를 소멸비 향상에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.^[13,14]

그림 1과 2는 각각 DSDR 수직 방향성 결합기의 3차원 개

념도와 2차원 단면도를 보인다. 두 코어를 따라 진행되는 광파는 두 코어 사이에 위치하는 내부 클래딩 영역에서 결합이 발생하여 결합기로 동작하게 된다. 이러한 내부 클래딩 영역에는 코어의 폭보다 더 큰 폭을 가지는 영역-날개구조부(wing) 영역이 존재하게 된다. 이러한 날개구조부 영역이 존재하지 않는 경우-DSDR 수직 방향성 결합기를 구성하는 모든 영역이 같은 폭을 가지는 경우에는 편광에 무관한 결합길이를 가지는 구조 파라미터와 물질 파라미터가 존재하지 않게 된다. 따라서 본 논문에서는 날개구조부 폭과 두께가 DSDR 수직 방향성 결합기의 편광에 따른 결합길이에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 특히 DSDR 수직 방향성 결합기가 편광에 무관한 결합길이를 가지는 구조 파라미터와 물질 파라미터를 가지기 위하여 필요한 날개구조부의 최소 폭과 두께에 관한 결과를 보고 하고자한다. 이러한 결과는 실제 소자를 제작할 때 매우 유용한 정보가 되리라 생각된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 DSDR 도파관 구조를 가지는 수직 방향성 결합기에서 날개구조부 폭과 두께가 편광 특성에 미치는 영향에 대하여 설명하였다. III장에서는 편광에 무관한 특성을 가지는 DSDR 수직 방향성 결합기의 최소 날개구조부 폭과 두께에 대하여 설명하였다. 마지막으로 IV장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. DSDR 수직 방향성 결합기에서 날개구조부 폭과 두께가 편광특성에 미치는 영향

그림 1은 DSDR 도파관 구조를 가지는 수직 방향성 결합

[†]E-mail: bgkim@e.ssu.ac.kr

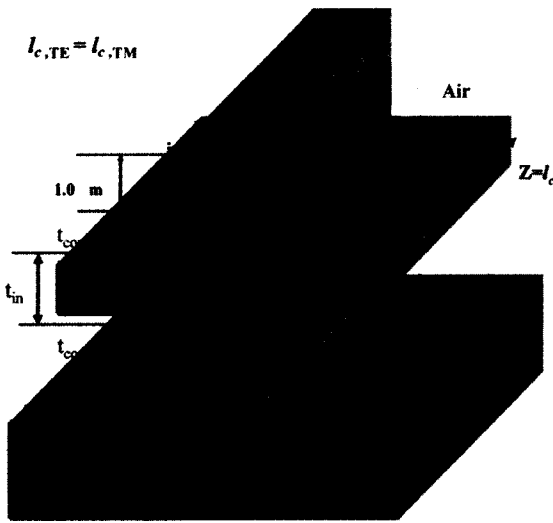


그림 1. DSDR 수직 방향성 결합기의 3차원 개념도

기의 3차원 개념도이다. 이 구조는 참고문헌 [4]에서 제안된 FVC 구조에 비하여 ridge 부분을 융합 시키는 과정이 없기 때문에 제작과정이 비교적 쉽고 융합 층이 도파 모드의 분포 영역으로부터 멀리 떨어져 있기 때문에 융합 층이 도파 모드의 특성에 미치는 영향이 실제적으로 거의 없다는 장점을 가지고 있다. 또한 적외선 photolithography 방법을 사용하여 위와 아래에 존재하는 도파관을 매우 잘 정렬 시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다.^[12]

그림 2는 DSDR 수직 방향성 결합기의 2차원 단면도이다. DSDR 수직 방향성 결합기의 특성 해석을 위하여 사용된 물질 파라미터는 다음과 같다. 코어 영역의 굴절율, n_{core} , 은 3.37, 내부 클래딩 영역의 굴절율, n_{in} , 과 도파관 A와 도파관 B의 바깥쪽 클래딩의 굴절율, n_{ex} , 은 3.17, 그리고 도파관을 둘러싸고 있는 물질의 굴절율은 공기의 굴절율인 1로 설정하였다. 구조 파라미터는 기존에 연구하였던 DSDR 수직 방

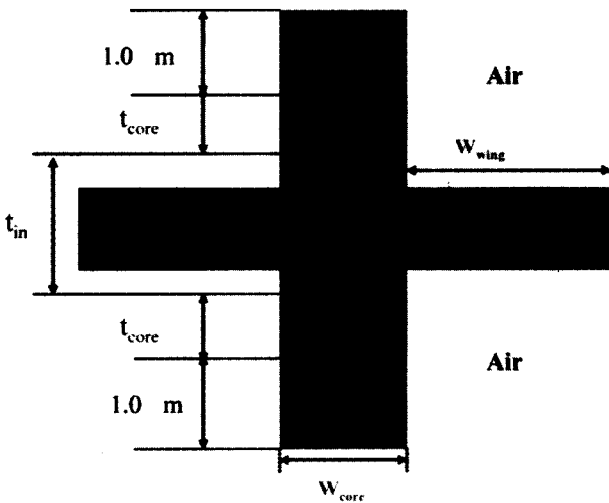


그림 2. DSDR 수직 방향성 결합기의 2차원 단면도

향성 결합기의 특성 해석 연구 내용을 바탕으로 다음과 같이 설정하였다. 바깥쪽 클래딩의 두께는 $1 \mu\text{m}$ 로, 내부 클래딩의 두께, t_{in} , 은 $0.5 \mu\text{m}$ 로, 도파관 A와 도파관 B의 코어의 두께, t_{core} , 는 $0.7 \mu\text{m}$ 로 설정하였다. 또한 사용된 파장은 $1.55 \mu\text{m}$ 이다.

위와 같이 설정된 물질 및 구조 파라미터를 가지는 DSDR 수직 방향성 결합기에서 날개구조부 폭과 두께가 편광에 따른 결합길이의 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 날개구조부의 두께, t_{wing} , 날개구조부의 폭, w_{wing} , 및 코어의 폭, w_{core} , 을 변화시키면서 편광에 따른 결합길이의 변화를 살펴 보았다.

본 논문에서 모든 계산은 3차원 Beam Propagation Method (BPM)을 이용하여 수행하였다.

그림 3(a)와 3(b)는 DSDR 수직 방향성 결합기의 날개구조부 두께가 $0.3 \mu\text{m}$ 일 때 각각 날개구조부의 폭이 존재하지 않는 경우와 무한대인 경우에 코어 폭의 함수로 도시한 TE 모드와 TM 모드의 결합길이이다. DSDR 수직 방향성 결합기에서 날개구조부의 폭이 존재하지 않는 경우(그림 3(a)) 코어 폭의 변화에 따른 TE 모드와 TM 모드의 결합길이의 변화는 작고 또한 두 모드의 결합길이 차이가 변화도 작음을 볼 수 있다. 그 이유는 코어 폭의 변화에 따른 코어 층과 내부 클

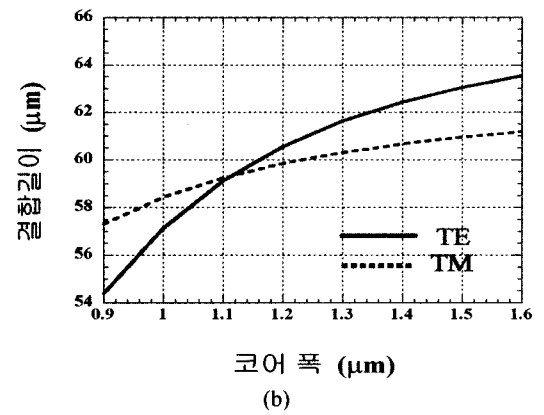
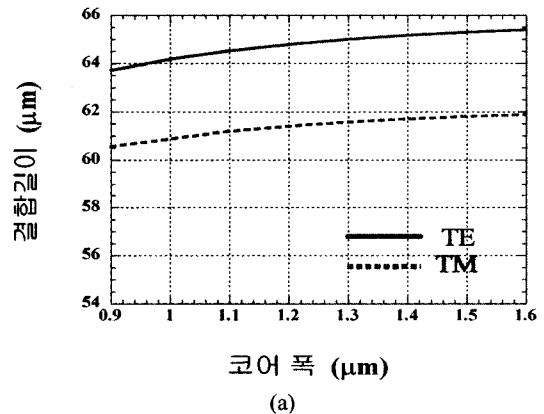


그림 3. 날개구조부의 폭이 존재하지 않는 경우 (a)와 무한대인 경우 (b), 코어 폭의 함수로 도시한 TE 모드와 TM 모드의 결합길이.

래딩 층의 유효 굴절율의 변화가 비슷하게 발생하므로 두 모드의 결합계수의 변화가 작게 발생하기 때문이다. 따라서 두 모드의 결합길이의 변화와 결합길이의 차이의 변화가 작게 발생하는 것이라고 생각된다.

DSDR 도파관 구조에서 날개구조부의 폭이 무한대인 경우 (그림 3(b))에는 코어 폭 변화에 따른 TE 모드의 결합길이의 변화가 TM 모드의 결합길이의 변화보다 크고 코어 폭이 1.12 μm 일 때 두 모드의 결합길이가 일치함을 볼 수 있다. 그 이유는 날개구조부의 폭이 무한대인 경우 내부 클래딩 영역은 거의 slab 형태의 도파관이므로 코어 폭 변화에 따른 내부 클래딩 영역의 유효 굴절율의 변화는 코어 층의 유효 굴절율의 변화에 비하여 매우 작게 발생하기 때문이다. 또한 코어 폭의 증가에 따른 코어 층의 유효 굴절율의 증가는 TE 모드가 TM 모드보다 크기 때문에^[13] 결합길이의 변화도 TE 모드가 TM 모드보다 큰 것이라고 생각된다. 또한 코어 폭이 무한대인 경우에는 결합기 구조가 slab 도파관 구조로 구성된 수직 방향성 결합기이므로 TE 모드의 결합길이가 TM 모드의 결합길이보다 큼을 알 수 있다. 그림 3을 통하여 날개구조부가 존재하여야 두 모드의 결합길이가 같아지는 코어

폭이 존재함을 알 수 있었다.

그림 4(a)와 4(b)는 각각 그림 3(a)와 3(b)에서 코어 폭이 1.12 μm 일 때의 2차원 구조를 유효 굴절율 방법을 사용하여 1차원 slab 도파관 구조로 나타낸 그림이다. 날개구조부의 폭이 존재하지 않는 경우(그림 4(a)) 코어 층의 유효 굴절율과 내부 클래딩 층의 유효 굴절율 차이가 TE 모드의 경우, $\Delta n_{\text{eff}}^{\text{TE}, W_{\text{wing}}=0}$ 는 0.20413이고 TM 모드의 경우, $\Delta n_{\text{eff}}^{\text{TM}, W_{\text{wing}}=0}$ 는 0.20255로서 TE 모드가 TM 모드 보다 큼을 알 수 있다. 또한 slab 도파관에서 코어 층의 굴절율과 내부 클래딩 층의 굴절율 차이가 같은 경우 TE 모드의 결합계수가 TM 모드의 결합계수 보다 작아 TE 모드의 결합길이가 TM 모드의 결합길이보다 크다. 따라서 날개구조부의 폭이 존재하지 않는 경우 TM 모드의 유효 굴절율 차이가 TE 모드의 유효 굴절율 차이 보다 작으므로 TM 모드의 결합길이가 TE 모드의 결합길이보다 작음을 예측할 수 있다. 그림 3(a)에서 보면 코어 폭이 1.12 μm 일 때 TM 모드의 결합길이는 61.26 μm 로서 TE 모드의 결합길이 64.64 μm 보다 작음을 볼 수 있었다.

날개구조부의 폭이 무한대인 경우 (그림 4(b)) 코어 층의 유효 굴절율과 내부 클래딩 층의 유효 굴절율 차이가 TE 모드의 경우, $\Delta n_{\text{eff}}^{\text{TE}, W_{\text{wing}}=\infty}$ 는 0.19035이고 TM 모드의 경우, $\Delta n_{\text{eff}}^{\text{TM}, W_{\text{wing}}=\infty}$ 는 0.19775로 날개구조부의 폭이 존재하지 않는 경우와는 달리 TM 모드가 TE 모드보다 큼을 알 수 있다. 또한 그림 4(a)와 그림 4(b)를 비교하면 날개구조부의 폭이 0 μm 에서 무한대가 되었을 때 발생하는 TE 모드와 TM 모드의 내부 클래딩층의 유효 굴절율의 증가는 각각 0.01378과 0.0048로서 TE 모드가 TM 모드 보다 큼을 알 수 있다. 따라서 날개구조부 폭의 증가에 따른 TE 모드의 결합길이의 감소가 TM 모드의 결합길이의 감소보다 크게 발생함을 예측할 수 있다. 그림 3(b)에서 보면 코어 폭이 1.12 μm 일 때 TM 모드의 결합길이와 TE 모드의 결합길이는 59.41 μm 로 동일함을 볼 수 있었고 날개구조부의 폭이 존재하지 않는 경우와 비교하면 TE 모드와 TM 모드의 결합길이의 감소는 각각 5.23 μm 와 1.85 μm 로서 TE 모드의 결합길이의 감소가 TM 모드의 결합길이의 감소보다 큼을 볼 수 있었다.

III. 편광에 무관한 결합길이를 가지는 DSDR 수직 방향성 결합기의 최소 날개구조부 폭과 최소 날개구조부 두께

그림 5는 날개구조부의 두께가 0.3 μm 이고 코어의 폭이 1.12 μm 일 때 날개구조부의 폭에 따른 TE 모드와 TM 모드의 결합길이를 나타내는 그림이다. 날개구조부의 폭이 0.34 μm 이상이 되면 날개구조부의 폭 증가에 따른 두 모드의 결합길이의 변화는 거의 없으며 또한 TE 모드와 TM 모드의 결합길이의 차이도 거의 없음을 알 수 있었다. 날개구조부의 폭이 0.34 μm 이상이 되면 두 코어를 따라 진행되는 광파 중 내부 클래딩에 존재하는 광파의 필드 분포에 날개구조부 바깥에 존재하는 공기의 굴절율이 미치는 영향이 매우 작기 때

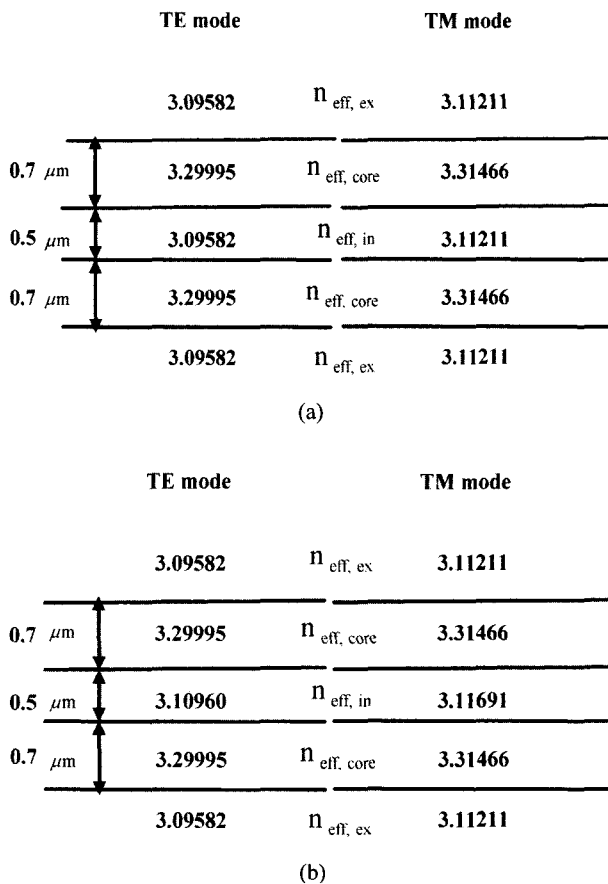


그림 4. 코어 폭이 1.12 μm 일 때, 유효 굴절율 방법을 사용하여 구한 날개구조부의 폭이 존재하지 않는 경우 (a)와 무한대인 경우 (b)의 TE 모드와 TM 모드에 대한 DSDR 수직 방향성 결합기의 1차원 단면도.

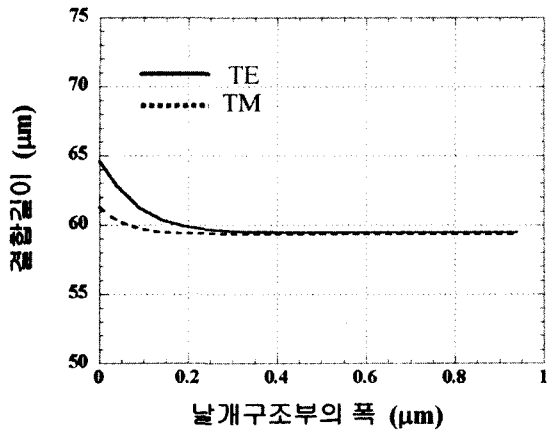


그림 5. 날개구조부의 두께가 0.3 μm 이고 코어의 폭이 1.12 μm 인 경우 날개구조부 폭의 함수로 구한 TE 모드와 TM 모드의 결합길이.

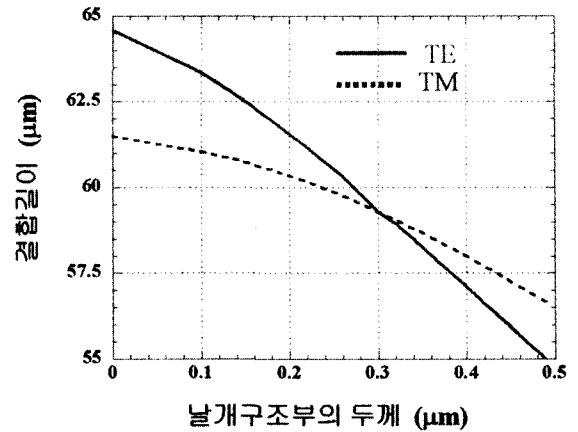


그림 6. 날개구조부의 폭이 0.34 μm 이고 코어의 폭이 1.12 μm 인 경우 날개구조부 두께의 함수로 구한 TE 모드와 TM 모드의 결합길이.

문이라 생각된다. 그림 5에서 볼 수 있는 것처럼 DSDR 수직 방향성 결합기의 물질 파라미터와 구조 파라미터가 주어졌을 때 편광에 무관한 결합길이를 가지는 최소 날개구조부 폭이 존재함을 알 수 있었다.

그림 6은 날개구조부의 폭이 0.34 μm 이고 코어의 폭이 1.12 μm 인 경우 날개구조부의 두께에 따른 TE 모드와 TM 모드의 결합길이를 나타내는 그림이다. 날개구조부의 두께가 0 μm 인(날개구조부가 존재하지 않는) 경우 그림 3(a)에서 보는 것처럼 TE 모드의 결합길이가 TM 모드의 결합길이보다 큼을 볼 수 있다. 날개구조부 두께의 증가에 따른 TE 모드와 TM 모드에 대한 내부 클래딩 층의 유효 굴절율의 증가를 알아보기 위하여 그림 4와 비슷하게 유효 굴절율 방법을 사용하여 2차원 DSDR 수직 방향성 결합기를 1차원 slab 도파로 구조로 변환시켰다. 그 결과 날개구조부의 두께가 0 μm 에서 0.5 μm 로 증가하였을 때 발생하는 TE 모드와 TM 모드의 내부 클래딩층의 유효 굴절율의 증가는 각각 0.02735와 0.01256 으로서 TE 모드가 TM 모드 보다 큼을 알 수 있다. 따라서

날개구조부 두께의 증가에 따른 TE 모드의 결합길이의 감소가 TM 모드의 결합길이의 감소보다 커 날개구조부의 두께가 0.3 μm 일 때 두 모드의 결합길이가 같아짐을 볼 수 있고 날개구조부의 두께가 더 증가하게 되면 TM 모드의 결합길이가 TE 모드의 결합길이보다 커짐을 볼 수 있었다.

그림 7(a), 7(b)와 7(c)는 코어의 두께가 각각 0.7 μm , 0.8 μm , 0.9 μm 일 때 여러 가지 내부 클래딩의 두께에 대하여 편광에 무관한 결합길이 특성을 가지는 코어 폭을 날개구조부 두께의 함수로 도시한 그림이다. 코어의 두께가 0.7 μm 인 경우 (그림 7(a)) 내부 클래딩의 두께와 관계없이 날개구조부의 두께가 0.14 μm 보다 작아지게 되면 두 모드의 결합길이가 일치하는 코어의 폭은 존재하지 않음을 알 수 있었다. 그 이유는 그림 6에서 보는 것처럼 날개구조부의 두께가 두 모드가 같은 결합길이를 가지는 날개구조부의 두께보다 감소하게 되면 TE 모드의 결합길이가 TM 모드의 결합길이보다 커지게 되기 때문이다. 이러한 경우 TE 모드의 결합길이를 일치시키기 위해서는 그림 3(b)에서

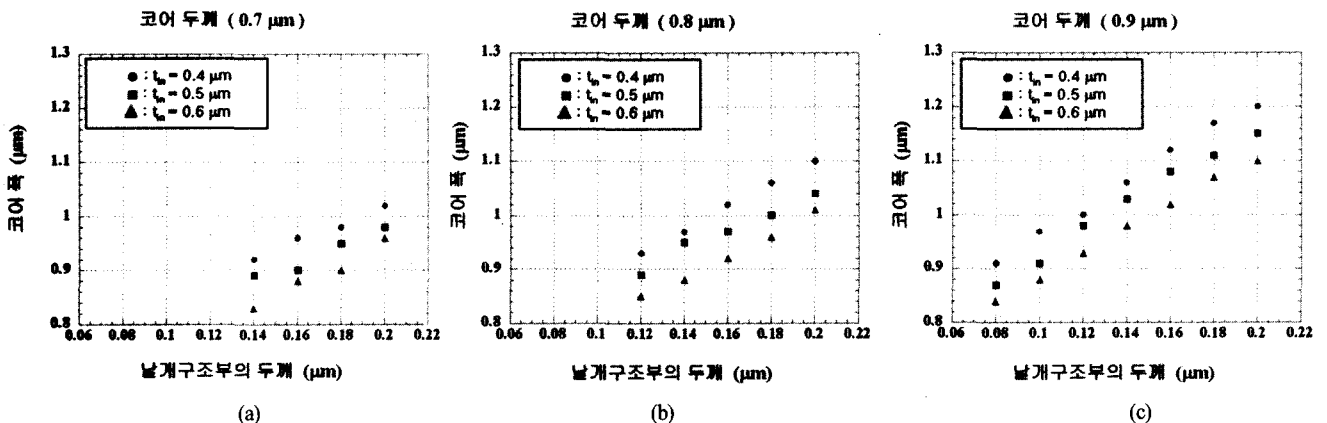


그림 7. 코어 두께가 각각 0.7 μm (a), 0.8 μm (b), 0.9 μm (c) 일 때 여러 가지 내부 클래딩의 두께에 대하여 날개구조부의 두께 변화에 따른 편광에 무관한 결합길이를 가지는 코어의 폭.

표 1. 여러 가지 내부 클래딩의 두께와 코어 두께에 대하여 편광에 무관한 결합길이를 가지는 코어 폭과 결합길이, 최소 날개구조부 폭과 소자 폭

내부 클래딩의 두께 (날개구조부의 두께) [μm]	코어 두께 [μm]	코어 폭 [μm]	결합길이 [μm]	최소 날개구조부 폭 [μm]	최소 소자 폭 [μm]
0.4(0.2)	0.7	1.02	41.49	0.29	1.60
	0.8	1.10	53.93	0.27	1.64
	0.9	1.20	68.92	0.25	1.70
0.5(0.3)	0.7	1.12	59.41	0.34	1.80
	0.8	1.20	78.44	0.32	1.84
	0.9	1.32	101.90	0.29	1.90
0.6(0.4)	0.7	1.18	84.68	0.41	2.00
	0.8	1.26	113.72	0.39	2.04
	0.9	1.38	149.91	0.36	2.10

보는 것처럼 코어 폭을 감소시켜야한다. 참고문헌 [13]의 그림 5를 보면 일정한 코어 두께에 대하여 코어 폭이 특정 길이 이하로 줄게 되면 단일모드 영역을 벗어나 차단 영역으로 들어감을 볼 수 있었고 이러한 차단 영역이 시작되는 코어 폭은 코어 두께가 증가할수록 감소함을 볼 수 있었다.

따라서 코어의 두께가 0.7 μm 인 경우 두 모드의 결합길이가 일치하는 코어 폭이 존재하기 위한 최소 날개구조부 두께는 내부 클래딩의 두께와는 상관없이 0.14 μm 임을 알 수 있었다. 또한 코어의 두께가 0.8 μm 인 경우(그림 7(b))와 0.9 μm 인 경우(그림 7(c))는 두 모드의 결합길이가 일치하는 코어 폭이 존재하기 위한 최소 날개구조부 두께는 각각 0.12 μm 와 0.08 μm 임을 알 수 있었다. 코어의 두께가 증가할수록 두 모드의 결합길이가 일치하는 코어 폭이 존재하기 위한 최소 날개구조부 두께는 감소함을 볼 수 있었다.

표 1은 내부 클래딩의 두께 (날개구조부의 두께)가 각각 0.4 μm (0.2 μm), 0.5 μm (0.3 μm)와 0.6 μm (0.4 μm)일 때 세 가지 코어 두께(0.7 μm , 0.8 μm 와 0.9 μm)에 대하여 편광에 관계없이 결합길이가 같은 코어 폭과 결합길이, 그리고 날개구조부 폭의 증가에 따른 결합길이의 변화가 일어나지 않는 최소 날개구조부 폭과 최소 소자 폭을 나타낸 표이다. 최소 소자 폭은 DSDR 수직 방향성 결합기의 폭으로써 최소 날개구조부 폭의 2배와 코어 폭을 더하여 구한 값이다.

날개구조부의 두께가 증가할수록 내부 클래딩 층의 유효 굴절율은 증가하기 때문에 내부 클래딩 층에 존재하는 광파의 field 분포가 증가한다. 따라서 날개구조부 폭 변화에 따른 두 모드의 결합길이의 변화가 일어나지 않는 최소 날개구조부 폭은 증가한다. 또한 날개구조부의 두께가 증가할수록 두 코어 사이의 거리는 증가하기 때문에 결합길이는 증가함을 알 수 있었다. 고정된 날개구조부의 두께에 대하여 코어 두께가 증가할수록 내부 클래딩 층에 존재하는 광파의 field 분포가 감소한다. 따라서 날개구조부 폭 변화에 따른 두 모드의 결합길이의 변화가 일어나지 않는 최소 날개구조부 폭은 감소함을 볼 수 있었다.

IV. 결 론

편광에 따른 성능 변화가 작은 deep-ridge 도파관 구조에 제작이 용이한 double-sided wafer process를 이용하여 구현할 수 있는 편광에 무관한 결합길이를 가지는 DSDR 수직 방향성 결합기의 날개구조부 폭과 날개구조부 두께가 편광에 따른 결합길이에 미치는 영향에 관하여 연구하였다.

DSDR 수직 방향성 결합기에서 날개구조부가 존재하지 않는 경우 편광에 관계없이 결합길이가 일치하는 구조 파라미터와 물질 파라미터가 존재하지 않음을 알 수 있었다. 날개구조부 폭이 특정 길이 이상이 되면 날개구조부 폭 증가에 따른 TE 모드와 TM 모드의 결합길이의 변화는 거의 없으며 또한 두 모드의 결합길이의 차이도 거의 발생하지 않음을 알 수 있었다. 따라서 편광에 관계없이 결합길이가 일치하는 DSDR 수직 방향성 결합기를 구현하기 위해서는 최소 날개구조부 폭이 존재함을 볼 수 있었다. 이러한 최소 날개구조부 폭은 같은 코어 두께에 대해서는 날개구조부의 두께가 증가할수록, 같은 날개구조부의 두께에 대해서는 코어 두께가 감소할수록 증가함을 볼 수 있었다.

편광에 관계없이 결합길이가 일치하는 DSDR 수직 방향성 결합기를 구현하기 위하여 필요한 최소 날개구조부 두께는 코어의 두께에 의하여 결정됨을 볼 수 있었고 코어의 두께가 증가할수록 최소 날개구조부 두께는 감소함을 볼 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌습니다.

참고문헌

[1] 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.

- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Sung-Chan Cho, Byung-Min Jung, Boo-Gyoun Kim, Hyun-Ha Hong, and Ali Shakouri, "A Novel Vertical Directional Coupler Switch With Switching-Operation- Induced Section and Extinction-Ratio-Enhanced Section," *J. Lightwave Technol.*, vol. 20, no. 9, pp. 1773-1778, 2002.
- [5] Bin Liu, Ali Shakouri, P. Abraham, and John E. Bowers, "A wavelength multiplexer using cascaded 3D vertical couplers," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 76, no. 3, pp. 282-284, 2000.
- [6] Bin Liu, Ali Shakouri, P. Abraham, and John E. Bowers, "Optical add/drop multiplexers based on X-crossing vertical coupler filters," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12, no. 4, pp. 410-412, 2000.
- [7] Bin Liu, Ali Shakouri, P. Abraham, and John E. Bowers, "Push-pull Fused vertical coupler switch," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 11, no. 6, pp. 662-664, 1999.
- [8] H. Bissessur, P. Pagnod-Rassiaux, R. Mestric, and B. Martin, "Extremely Small Polarization Independent Phased-Array Demultiplexers on InP," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 8, no. 4, pp. 554-556, 1996.
- [9] Masaki Kohtoku, Hiroaki Sanjoh, Satoshi Oku, Yoshiaki Kadota, and Yuzo Yoshikuni, "Polarization Independent Semiconductor Arrayed Waveguide Gratings Using a Deep-Ridge Waveguide Structure," *IEICE Trans. Electron.*, vol. E81-C, no. 8, pp. 1195-1204, 1998.
- [10] Wa Peng Wong and Kin Seng Chiang, "Design of Polarization-Insensitive Bragg Grating in Zero-Birefringence Ridge Waveguides," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 37, no. 9, pp. 1138-1145, 2001.
- [11] S.-H. Jeong, T. Mizumoto, K. Nakatsuhara, M. Takenaka, and Y. Nakano, "Deep-ridge distributed feedback waveguide for polarization independent all-optical switching," *Electron. Lett.*, vol. 37, no. 8, pp. 498-499, 2001.
- [12] Bin Liu, Ali Shakouri, P. Abraham and John E. Bowers, "Vertical Coupler with separated inputs and outputs fabricated using double-sided process," *Electron. Lett.*, vol. 35, no. 18, pp. 1552-1554, 1999.
- [13] 정병민, 김부균, "편광에 무관한 매우 짧은 결합길이를 가지는 새로운 수직 방향성 결합기," *한국광학회지*, 14권 4호, pp. 359-364, 2003.
- [14] 정병민, 김부균, "편광에 관계없이 매우 짧은 결합길이를 가지는 Double-Sided Deep-Ridge 도파관 구조 수직 방향성 결합기의 소멸비 향상," *한국광학회지*, 15권 1호, pp. 12-16, 2004.

Effect of wing width and thickness on the polarization characteristics of vertical directional couplers using the Double-Sided Deep-Ridge waveguide structure

Byung-Min Jung, Jung-Hyun Yoon, and Boo-Gyoun Kim[†]

School of Electronic Engineering, Soongsil University
1-1 Sangdo 5-Dong Dongjak-Gu, Seoul 156-743, Korea

[†]E-mail: bgkim@e.ssu.ac.kr

(Received April 20, 2004, Revised manuscript July 2, 2004)

We investigate the effect of the wing width and thickness of a Double-Sided Deep-Ridge(DSDR) vertical directional coupler on the coupling length dependent on the polarization. We have found that the DSDR vertical directional coupler without a wing does not have polarization independent coupling lengths. The variation of the coupling length of TE and TM modes and the difference between the coupling lengths of the two modes are negligible as the wing width increases beyond the specific wing width for the same wing thickness. Thus, we can see that a DSDR vertical directional coupler has a wing width larger than the minimum wing width to obtain the polarization independent coupling length. The minimum wing width increases as the wing thickness increases for the same core thickness and as the core thickness decreases for the same wing width. Also, we have found that the minimum wing thickness is determined by the core thickness and the minimum wing thickness decreases as the core thickness increases.

OCIS Codes : 060.1810, 130.3120, 250.5300, 230.3120, 230.7380.