

## 편광에 무관한 매우 짧은 결합 길이를 가지는 새로운 수직 방향성 결합기

정병민 · 김부균<sup>†</sup>

승실대학교 정보통신전자공학부

☎ 156-743 서울시 동작구 상도 5동 1-1

(2003년 5월 6일 받음, 2003년 7월 1일 수정본 받음)

편광에 따른 성능 변화가 작은 deep-ridge 도파관 구조에 제작이 용이한 double-sided 프로세스를 이용하여 구현할 수 있는 편광에 무관한 매우 짧은 결합 길이를 가지는 double-sided deep-ridge 도파관 구조를 가지는 새로운 수직 방향성 결합기를 제안하고 여러 가지 구조 파라미터들이 결합길이에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 도파관 폭의 변화에 대한 결합길이의 변화는 코어 두께의 변화에 대한 결합길이의 변화보다 작게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 내부 클래딩 영역의 두께가 감소할수록, 코어 두께가 감소할수록 결합 길이가 감소함을 볼 수 있었다. 또한 같은 코어 두께에 대해서는 내부 클래딩 영역의 두께가 감소할수록, 같은 내부 클래딩 영역의 두께에 대해서는 코어 두께가 감소할수록 편광에 관계없이 결합 길이가 같아지는 도파관 폭이 작아짐을 볼 수 있었다.

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

### I. 서 론

인터넷 이용자수의 폭발적인 증가는 전송하고 처리해야하는 정보용량을 기하급수적으로 증가시키고 있다. 이러한 폭발적인 정보용량을 처리하고 전송하기 위해서는 고속의 광 스위칭 시스템이 요구된다. 이러한 집적된 대용량의 광 스위칭 시스템을 구성하는 단위 스위치는 빠른 스위칭 시간, 작은 크기, 작은 손실 그리고 높은 소멸비(extinction ratio)등의 특성을 지니고 있어야 하며 편광(polarization)에 따른 성능 변화가 작아야 한다. 또한 입력단과 출력단에서 광섬유와의 결합이 용이해야 하며 스위칭 시스템에서 발생하는 손실을 보상할 수 있기 위하여 반도체 광 증폭기와와의 집적이 용이해야한다.

위와 같은 조건을 만족하는 광 스위칭 소자를 구현하기에 가장 적합한 구조중 하나는 방향성 결합기(directional coupler)이다. 이러한 방향성 결합기 스위치는 스위칭을 일으키는데 요구되어지는 굴절을 변화가 다른 구조의 스위치에 비해 작아 많은 연구가 진행되었다. 그중 융합 수직 방향성 결합기(Fused Vertical Coupler, FVC)는 입력단과 출력단의 각 포트들을 광섬유와 결합이 용이하도록 쉽게 분리할 수 있고, 결합길이가 짧기 때문에 N X N 스위치로 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 많은 연구가 수행 되고 있다.<sup>[1-3]</sup>

최근 융합 수직 방향성 결합기의 연구를 통하여 매우 짧은 소자 길이를 가지며 매우 높은 소멸비를 얻을 수 있는 수직 방향성 결합기 스위치(Fused Vertical Coupler Switch, FVCS)가 제안되었다.<sup>[4]</sup> 이러한 구조의 장점은 코어의 굴절을 변화만으로 매우 짧은 길이를 가지고 크로스와 바 상태 모두에서 30

dB 이상의 높은 소멸비를 얻을 수 있다는 것이다. 그러나 제안된 FVCS 구조는 코어 영역이 slab 형태로 이루어진 도파관 소자를 이용하기 때문에 편광에 따라 성능이 변화하는 단점을 가지고 있고 소자 구현 시 두 개의 분리된 도파관의 ridge 부분을 정확하게 융합시켜야 하는 제작과정의 어려움이 있다.<sup>[2,3]</sup>

최근 광소자의 편광에 따른 성능 변화를 최소화하기 위하여 deep-ridge 도파관 구조를 광소자에 사용하는 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[5-8]</sup> 또한 웨이퍼 융합 시 발생하는 제작과정의 어려움을 해결하고 특성을 향상시키기 위하여 double-sided 프로세스에 관한 연구가 발표되었다.<sup>[9]</sup> 본 논문에서는 편광에 따른 성능 변화가 작은 deep-ridge 도파관 구조에 제작이 용이한 double-sided 프로세스를 이용하여 구현할 수 있는 편광에 무관한 결합 길이를 가지는 Double-Sided Deep-Ridge(DSDR) 도파관 구조를 가지는 수직 방향성 결합기를 제안하고 여러 가지 구조 파라미터들이 그 특성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 DSDR 도파관 구조를 가지는 수직 방향성 결합기를 구성하는 deep-ridge 도파관의 소자특성과 단일 모드 조건에 대하여 설명한다. III장에서는 DSDR 도파관을 이용한 수직 방향성 결합기의 편광에 따른 결합길이의 구조 파라미터들이 결합 길이에 미치는 영향에 대하여 설명한다. 마지막으로 IV장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

### II. Deep-Ridge 도파관의 소자특성과 단일모드 조건

그림 1은 본 논문에서 제안한 DSDR 도파관 구조를 가지는 수직 방향성 결합기의 기본 구성 요소인 deep-ridge 도파관의 2차원 단면도이다. Deep-ridge 도파관 구조는 코어의 형태가 사각형 구조로 이루어져 있기 때문에 수직 방향의 코어와 클

<sup>†</sup>E-mail: bgkim@e.ssu.ac.kr

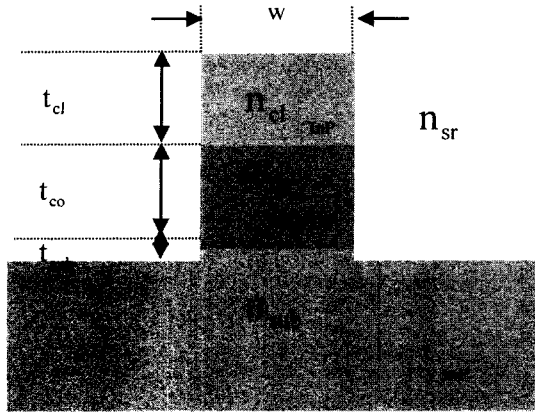


그림 1. Deep-ridge 도파관의 2차원 단면도.

래딩의 굴절률 차이에 의하여 발생하는 birefringence 문제를 수평 방향의 코어와 공기의 굴절률 차이를 이용하여 보상해 줌으로써 편광에 대한 특성 변화를 최소화 할 수 있는 장점을 지니고 있다.<sup>[5]</sup>

본 논문에서 해석하고자하는 deep-ridge 도파관의 각 영역의 굴절률은 다음과 같이 설정하였다. 코어 영역의 굴절률,  $n_{cl}$ 은 3.37, 클래딩 영역의 굴절률,  $n_{cl}$ 과 substrate 영역의 굴절률,  $n_{sub}$ 은 3.17, 그리고 도파관을 둘러싸고 있는 물질의 굴절률,  $n_{sr}$ 은 공기의 굴절률인 1로 설정하였다. 또한 사용된 파장은  $1.55 \mu\text{m}$ 로 설정하였다.

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

그림 2는 그림 1과 같은 deep-ridge 도파관 구조에서 코어 두께,  $t_{co}$ 가  $0.8 \mu\text{m}$ , 도파관 폭,  $w$ ,이  $1.78 \mu\text{m}$ 이고 아래쪽 클래딩의 두께,  $t_{sub}$ ,가  $0.1 \mu\text{m}$ 일 때, 위쪽 클래딩의 두께,  $t_{cl}$ ,의 함수로 도시한 TE 모드와 TM 모드의 유효 굴절률이다. 위쪽 클래딩의 두께 변화에 따른 유효 굴절률의 변화는 TM 모드가 TE 모드보다 크게 됨을 볼 수 있다. 위쪽 클래딩의 두께가  $1 \mu\text{m}$  보다 더 증가하게 되면 두 모드의 유효 굴절률 변화는 거의 없으며 또한 TE 모드와 TM 모드의 유효 굴절률

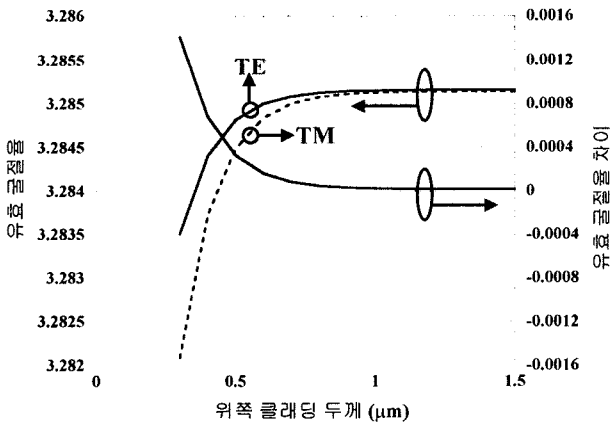


그림 2. 코어 두께가  $0.8 \mu\text{m}$ , 도파관 폭이  $1.78 \mu\text{m}$ , 아래쪽 클래딩 두께가  $0.1 \mu\text{m}$ 일 때 위쪽 클래딩 두께의 함수로 도시한 TE 모드와 TM 모드의 유효 굴절률과 유효 굴절률 차이.

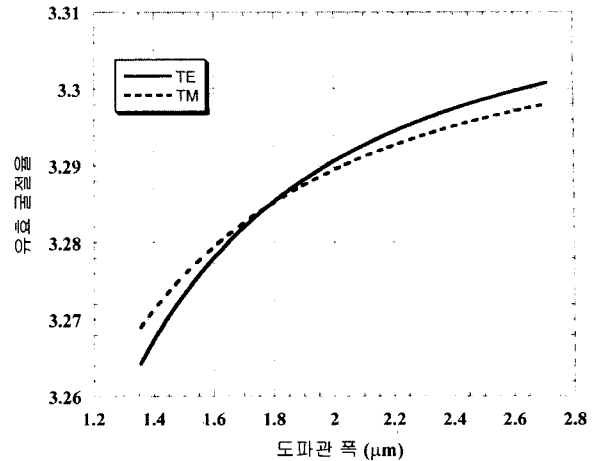


그림 3. 코어 두께가  $0.8 \mu\text{m}$ 일 때 도파관 폭의 함수로 도시한 TE 모드와 TM 모드의 유효 굴절률.

차이도 거의 나타나지 않음을 볼 수 있다.<sup>[6]</sup> 따라서 본 논문에서는 위쪽 클래딩의 두께를  $1 \mu\text{m}$ 로 고정하였다.

그림 3은 그림 1과 같은 deep-ridge 도파관 구조에서 코어 두께가  $0.8 \mu\text{m}$ 일 때 도파관 폭의 함수로 도시한 TE 모드와 TM 모드의 유효 굴절률이다. 도파관 폭의 변화에 따른 TE 모드의 유효 굴절률의 변화가 TM 모드의 유효 굴절률의 변화보다 큼을 볼 수 있다. 또한 도파관 폭이 증가 할수록 두 모드의 유효 굴절률의 변화가 감소하는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 코어의 두께가 고정되고 수평 방향으로 도파관 폭이 증가함에 따라 코어를 따라 진행하는 모드들의 특성이 수평 방향으로 slab인 도파관을 따라 진행하는 모드들의 특성에 접근하기 때문이라 생각된다. 또한 도파관 폭이  $1.78 \mu\text{m}$ 일 때 TE 모드와 TM 모드의 유효 굴절률 값이 같아짐을 볼 수 있다.

그림 4는 그림 1과 같은 deep-ridge 도파관 구조에서 도파관 폭이  $1.78 \mu\text{m}$ 일 때 코어 두께의 함수로 도시한 TE 모드와 TM 모드의 유효 굴절률이다. 그림 3과는 달리 코어 두께의 변화에 따른 TM 모드의 유효 굴절률의 변화가 TE 모드의 유효 굴절률의 변화보다 큼을 볼 수 있다. 또한 코어 두께

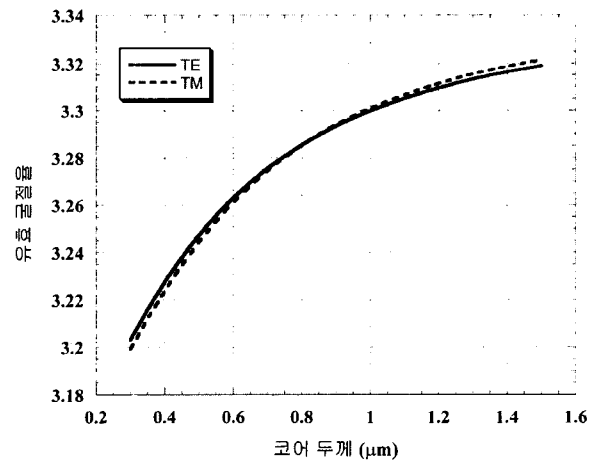


그림 4. 도파관 폭이  $1.78 \mu\text{m}$ 일 때 코어 두께의 함수로 도시한 TE 모드와 TM 모드의 유효 굴절률.

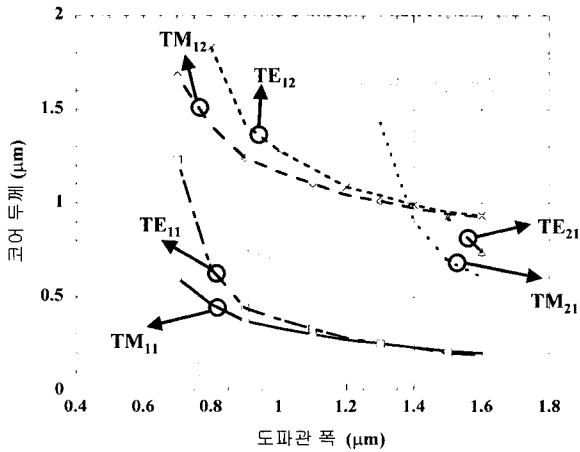


그림 5. 그림 1과 같은 deep-ridge 도파관에서 각각의 모드가 존재할 수 있는 도파관 폭과 코어 두께를 도시한 그림.

가 증가 할수록 두 모드의 굴절율의 변화가 감소하는 것을 볼 수 있다. 그 이유는 도파관 폭이 고정되고 코어 두께가 증가함에 따라 코어를 따라 진행하는 모드들의 특성이 수직 방향으로 slab인 도파관을 따라 진행하는 모드들의 특성에 접근하기 때문이라 생각된다. 또한 코어 두께가 0.8 μm일 때 TE 모드와 TM 모드의 유효 굴절율이 같아짐을 볼 수 있다.

그림 5는 그림 1과 같은 deep-ridge 도파관에서 각각의 모드가 존재할 수 있는 도파관 폭과 코어 두께를 도시한 그림이다. 각각의 도파관 폭에서 코어 두께를 변화시키며 각각의 도파 모드들이 존재하기 시작하는 최소의 코어 두께를 도시하였다. 도파관 폭을 x축, 코어 두께를 y축 방향으로 설정하였을 때 하나의 예를 들어 그림 5를 설명하면 다음과 같다. 도파관 폭이 1.4 μm일 때 코어 두께가 0.25 μm가 될 때까지는 어떠한 모드도 존재하지 않았고(차단 영역), 코어 두께가 1 μm 이상이 되면 두 번째 모드인 TM<sub>12</sub>와 TE<sub>12</sub> 모드가 발생하였다. 즉 도파관 폭이 1.4 μm일 때의 단일 모드 조건을 만족하는 코어 두께는 0.25 μm~1 μm의 영역임을 알 수 있었다. 그러나 도파관 폭이 약 1.4 μm 이상일 때에는 차단 영역의 코어 두께는 약간 감소하지만 도파관 폭이 크기 때문에 코어 두께가 증가함에 따라 TM<sub>21</sub> 모드가 TM<sub>12</sub>와 TE<sub>12</sub> 모드보다 먼저 발생하여 단일 모드 조건을 만족시키는 코어 두께의 범위가 크게 감소됨을 알 수 있었다.

따라서 이와 같은 그림이 보여주는 단일 모드 조건을 만족하는 구조 파라미터 영역을 이용하여 편광에 무관한 매우 짧은 결합 길이를 가지는 DSDR 도파관 구조를 가지는 수직 방향성 결합기를 설계하여야 함을 알 수 있었다.

### III. Double-Sided Deep-Ridge 도파관 구조를 이용한 편광에 무관한 특성을 가지는 수직 방향성 결합기의 특성 해석

그림 6은 double-sided 프로세스<sup>9)</sup>를 사용하여 구현할 수 있는 deep-ridge 도파관 2개를 위와 아래로 가지는 DSDR 도파관 구조를 가지는 수직 방향성 결합기의 2차원 단면도이다. 이

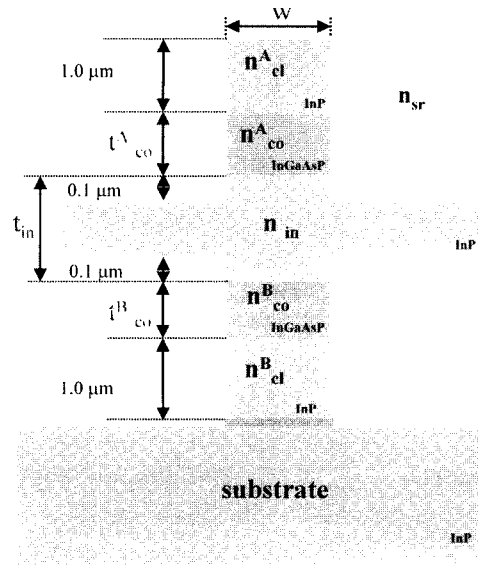


그림 6. Double-Sided Deep-Ridge 도파관 구조를 가지는 수직 방향성 결합기의 2차원 단면도.

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.<sup>9)</sup>

새롭게 제안된 DSDR 도파관 구조를 가지는 수직 방향성 결합기의 특성 해석을 위하여 사용된 구조 및 물질 파라미터는 다음과 같다. 도파관 A와 도파관 B의 바깥쪽 클래딩의 굴절율,  $n_{cl}^A$ 과  $n_{cl}^B$ ,은 3.17, 도파관 A와 도파관 B의 코어 굴절율,  $n_{co}^A$ 와  $n_{co}^B$ ,는 3.37, 그리고 도파관 A와 도파관 B 사이의 내부 클래딩 영역의 굴절율,  $n_{in}$ ,은 3.17로 설정하였다. 또한 도파관을 둘러싸고 있는 물질의 굴절율,  $n_{sr}$ ,은 공기의 굴절율인 1로 설정하였다.

구조 파라미터는 FVC 구조와 deep-ridge 도파관 구조의 특성 해석 연구 내용을 바탕으로 다음과 같이 설정하였다. 바깥쪽 클래딩의 두께는 1 μm로, 도파관 A와 도파관 B의 코어의 두께는 같다고 설정하였다. 또한 사용된 파장은 1.55 μm이다.

위와 같이 설정된 물질 및 구조 파라미터를 가지고 코어의 두께,  $t_{co}^A$ 와  $t_{co}^B$ , 코어와 코어 사이의 내부 클래딩 영역의 두께,  $t_{in}$ , 및 도파관 폭,  $w$ ,을 변화시키면서 각각의 구조에 대하여 특성 해석을 수행하였다.

그림 7은 그림 6과 같은 DSDR 도파관 구조를 가지는 수직 방향성 결합기에서 내부 클래딩 영역의 두께를 0.7 μm로 고정시키고 여러 가지 코어 두께에 대하여 도파관 폭의 함수로 도시한 TE 모드와 TM 모드의 결합길이를 나타낸 그림이다. 도파관 폭과 코어 두께가 증가함에 따라 두 코어를 따라 도파하는 모드간의 결합력이 약해지기 때문에 TE 모드와 TM 모드의 결합길이 증가함을 볼 수 있다. 각각의 코어 두께에

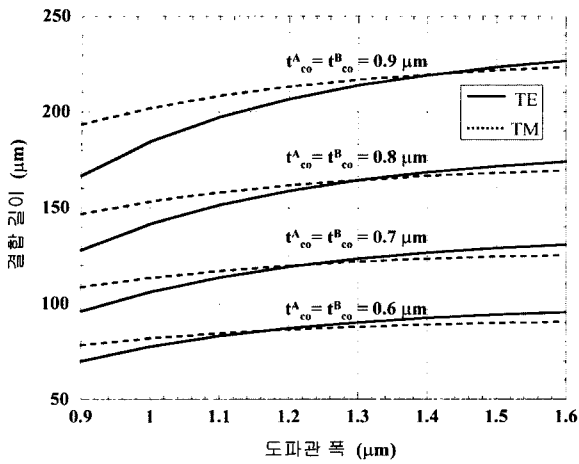


그림 7. 내부 클래딩 영역의 두께가 0.7 $\mu\text{m}$ 일 때 여러 가지 코어 두께에 대하여 도파관 폭의 함수로 도시한 TE 모드와 TM 모드의 결합길이.

대하여 편광에 관계없이 결합길이가 일치하는 도파관 폭이 존재함을 볼 수 있다. 또한 코어 두께가 증가할수록 결합길이가 일치하는 도파관 폭이 증가함을 볼 수 있다. 코어 두께가 같을 때 도파관 폭의 증가에 따른 결합 길이의 변화는 TM 모드가 TE 모드 보다 작음을 볼 수 있다. 그 이유는 그림 3에서 보듯이 도파관 폭의 증가에 따른 유효 굴절율의 변화가 TM 모드가 TE 모드 보다 작기 때문이라 생각된다.

코어 두께가 0.8 $\mu\text{m}$ 일 때 그림 3과 그림 7을 비교하여 보면 두 모드의 유효 굴절율이 일치하는 deep-ridge 도파관 폭의 길이는 1.78 $\mu\text{m}$ 이고 두 모드의 결합길이가 일치하는 수직 방향성 결합기의 도파관 폭은 1.3 $\mu\text{m}$ 임을 알 수 있다. 그 이유는 수직 방향성 결합기에서 결합길이는 결합 계수에 의해서 결정되기 때문이다. 따라서 방향성 결합기에서 두 모드의 결합길이를 일치시키기 위해서는 두 모드의 결합계수를 일치시켜야 한다. 수직 방향성 결합기에서 두 도파관을 따라 진행하는 모드 사이의 결합 계수는 두 도파관 코어 사이의 내부 클래딩 영역에서의 두 모드의 필드 분포의 overlap 적분에 의하여 결정된다. 코어 영역이 slab 형태를 가지는 도파관 구조를 이용한 수직 방향성 결합기에서는 같은 구조 및 물질 파라미터를 가지는 경우 두 도파관 코어 사이의 내부 클래딩 영역에서의 두 모드의 필드 분포의 overlap 적분이 TM 모드가 TE 모드 보다 항상 크다. 따라서 결합길이는 항상 TE 모드가 TM 모드보다 길다. 그러나 그림 6과 같은 DSDR 도파관 구조를 가지는 수직 방향성 결합기에서 두 모드의 결합길이가 일치하는 경우는 같은 구조 및 물질 파라미터를 가질 때 TM 모드의 유효 굴절율이 TE 모드의 유효 굴절율보다 커 내부 클래딩 영역에서의 두 모드의 필드 분포의 overlap 적분이 TM 모드와 TE 모드가 같게 되기 때문이다. 따라서 결합 길이가 같은 도파관 폭과 코어 두께에서 deep-ridge 도파관의 유효 굴절율은 그림 3에서 보는 것처럼 TM 모드가 TE 모드 보다 크다.

도파관 폭의 변화에 대한 결합길이의 변화가 코어 두께의 변화에 대한 결합길이의 변화보다 작게 나타나는 것을 볼 수

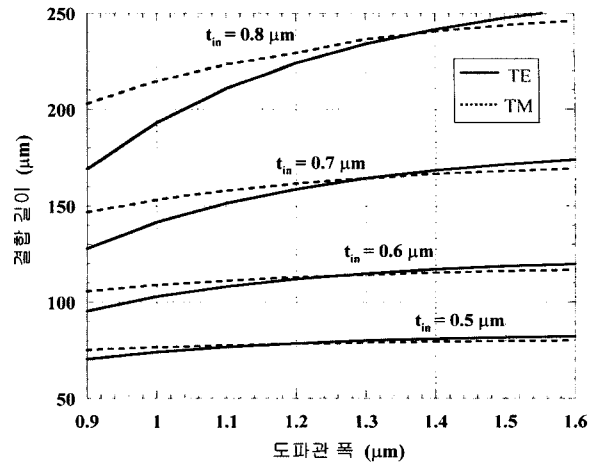


그림 8. 코어 두께가 0.8 $\mu\text{m}$ 일 때 여러 가지 내부 클래딩 영역의 두께에 대하여 도파관 폭의 함수로 도시한 TE 모드와 TM 모드의 결합길이.

있다. 즉 도파관 폭에 대한 제작공차가 코어 두께에 대한 제작공차보다 큰 것을 볼 수 있었다. 그 이유는 코어를 중심으로 수평 방향으로의 굴절을 차이가 수직 방향으로의 굴절을 차이보다 크기 때문이라 생각된다.

그림 8은 그림 6과 같은 DSDR 도파관 구조를 가지는 수직 방향성 결합기에서 코어 두께를 0.8 $\mu\text{m}$ 로 고정시키고 여러 가지 내부 클래딩 영역의 두께에 대하여 도파관 폭의 함수로 도시한 TE 모드와 TM 모드의 결합길이이다. 각각의 내부 클래딩 영역의 두께에 대하여 편광에 관계없이 결합길이가 일치하는 도파관 폭이 존재함을 볼 수 있다. 또한 결합 길이가 일치하는 도파관 폭은 내부 클래딩 영역의 두께가 작아질수록 작아짐을 볼 수 있다. 특히 내부 클래딩 영역의 두께가 작아질수록 편광에 따른 결합 길이의 차이가 매우 작은 도파관 폭의 영역이 증가함을 볼 수 있다. 또한 내부 클래딩 영역의 두께가 작아질수록 결합 세기가 커져 결합 길이가 감소함을 볼 수 있다.

표 1. 그림 6과 같은 DSDR 도파관 구조를 가지는 수직 방향성 결합기에서 여러 가지 내부 클래딩 영역 및 코어 두께에 대하여 편광에 관계없이 결합길이가 일치하는 도파관 폭과 결합길이

내부 클래딩 영역 두께 [ $\mu\text{m}$ ]	코어 두께 [ $\mu\text{m}$ ]	도파관 폭 [ $\mu\text{m}$ ]	결합길이 [ $\mu\text{m}$ ]
0.5	0.7	1.07	60.9
	0.8	1.16	80.9
	0.9	1.27	103.7
0.6	0.7	1.16	87.9
	0.8	1.24	116.8
	0.9	1.34	153.1
0.7	0.7	1.22	124.3
	0.8	1.30	169.3
	0.9	1.41	225.0
0.8	0.7	1.26	176.5
	0.8	1.33	244.8
	0.9	1.45	330.2

그림 6과 같은 DSDR 도파관 구조를 가진 수직 방향성 결합기에서 여러 가지 내부 클래딩 영역 및 코어 두께에 대하여 편광에 관계없이 결합 길이가 일치하는 도파관 폭과 결합 길이를 계산한 결과를 표 1에 보인다. 예측한대로 내부 클래딩 영역의 두께가 감소할수록, 코어 두께가 감소할수록 결합 길이가 감소함을 볼 수 있었다. 또한 같은 코어 두께에 대해서는 내부 클래딩 영역의 두께가 감소할수록, 같은 내부 클래딩 영역의 두께에 대해서는 코어 두께가 감소할수록 편광에 관계없이 결합 길이가 같은 도파관 폭이 작아짐을 알 수 있었다.

#### IV. 결 론

편광에 따른 성능 변화가 작은 deep-ridge 도파관 구조에 제작이 용이한 double-sided 프로세스를 이용하여 구현할 수 있는 편광에 무관한 매우 짧은 결합 길이를 가지는 DSDR 도파관 구조를 가지는 새로운 수직 방향성 결합기를 제안하고 여러 가지 구조 파라미터들이 결합길이에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 같은 코어 두께에 대하여 TE 모드와 TM 모드의 결합 길이가 같은 도파관 폭이 deep-ridge 도파관에서 TE 모드와 TM 모드의 유효 굴절율이 같은 도파관 폭보다 작음을 볼 수 있었다. 도파관 폭의 변화에 대한 결합길이의 변화는 코어 두께의 변화에 대한 결합길이의 변화보다 작게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 내부 클래딩 영역의 두께가 감소할수록, 코어 두께가 감소할수록 결합 길이가 감소함을 볼 수 있었다. 또한 같은 코어 두께에 대해서는 내부 클래딩 영역의 두께가 감소할수록, 같은 내부 클래딩 영역의 두께에 대해서는 코어 두께가 감소할수록 편광에 관계없이 결합 길이가 같아지는 도파관 폭이 작아짐을 볼 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 정보통신부의 기초기술연구지원사업과 광주과학기술원 초고속광네트워크연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터 지원금에 의한 것입니다.

#### 참고문헌

- [1] B.-G. Kim, A. Shakouri, B. L. 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] A. Shakouri, B. Liu, B.-G. 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] B. Liu, A. 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] S.-C. Cho, B.-M. Jung, B.-G. Kim, H.-H. Hong, and A. 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] 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.
- [6] 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.
- [7] W. P. Wong, and K. S. Chiang, "Design of polarization-insensitive bragg grating in zero-birefringence ridge waveguides," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 37, no. 9, pp. 1138-1145, 2001.
- [8] 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.
- [9] B. Liu, A. 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.

## **A novel vertical directional coupler with polarization independent very short coupling lengths**

Byung-Min Jung and Boo-Gyoun Kim<sup>†</sup>

*School of Electronic Engineering, Soongsil University, Seoul, KOREA*

*<sup>†</sup>E-mail: bgkim@e.ssu.ac.kr*

(Received May 6, 2003, Revised manuscript July 1, 2003)

We propose a novel vertical directional coupler with polarization independent very short coupling lengths using the double-sided deep-ridge waveguide structure which could be implemented using double-sided process to polarization insensitive deep-ridge waveguide structures and investigate the effect of various structure parameters on the coupling length. Variation of coupling length for the variation of the waveguide width is smaller than that for the variation of the core thickness. Coupling length decreases as the inner cladding layer thickness and the core thickness decrease. The waveguide width with the polarization independent coupling length decreases as the inner cladding layer thickness decreases for the same core thickness and the core thickness decreases for the same inner cladding layer thickness.

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