

매립형 채널 도파로(buried channel waveguides) 소자 단면의 최적 무반사 코팅에 관한 연구

김형주, 김상택, 김부균
승실대학교 정보통신전자공학부
전화 : 02-813-1596 / 핸드폰 : 011-9063-5797

A Study on the Optimal Antireflection coating on the facets of buried channel waveguides

Hyoung Joo Kim, Sang Taek Kim, Boo-Gyoun Kim,
School of Electronic Engineering, Soongsil University
E-mail : hjkim@sunbee.soongsil.ac.kr

Abstract

We have calculated the optimum refractive index and thickness for a single layer antireflection coating as a function of active layer width and thickness in buried channel waveguides. The results using the variational method to obtain the field profiles are compared to those using the effective index method.

I. 서론

매립형 채널 도파로(buried channel waveguides) 소자는 광통신용 소자에 널리 사용되는 구조이다. 또한 반도체 광 증폭기는 편광에 무관한 특성을 가져야 하므로 채널 도파로 소자의 aspect ratio(채널 도파관 폭/채널 도파관 두께)가 1에 가깝게 설계되어진다 [1-3]. 반도체 광증폭기는 단면 반사율이 작을수록($\sim 10^{-4}$) 동작 특성이 향상되므로 무반사 코팅 기술에 관하여 많은 연구가 이루어졌으나 주로 1차원 구조를 가지는 슬랩 도파로 구조 소자에 대하여 연구하였다. 무

반사 코팅층의 굴절율과 두께가 최소 반사율을 주는 최적 굴절율과 최적 두께로부터 조금만 달라져도 단면 반사율이 급격히 증가한다. 따라서 무반사 코팅층의 정확한 최적 굴절율과 최적 두께에 대한 연구는 중요하다 할 수 있다.

Angular spectrum 방법을 사용하여 채널 도파관 소자의 단면 반사율을 구하기 위해서는 정확한 2차원 필드 분포의 analytic 표현식이 필요하며 이러한 필드 분포의 정확도는 반사율 값에 큰 영향을 미친다. Buss 등은 유효굴절율 방법을 사용하여 매립형 채널 도파로의 2차원 필드 분포에 대한 analytic 표현식을 구한 뒤 angular spectrum 방법을 적용하여 반사율 값을 구하였다[4]. 그러나 유효굴절율 방법을 사용하여 구한 2차원의 필드 분포는 lateral 방향으로의 도파로 폭이 작을 때는 정확한 필드 분포와의 오차가 크게 나타나 반사율 또한 큰 오차를 초래한다는 단점이 있다.

본 논문에서는 채널 도파관 소자의 aspect ratio에 관계없이 정확한 필드 분포와 오차가 크게 발생하지 않는 variational method(VM)을 사용하여 2차원의 필

드 분포를 구한 뒤 angular spectrum 방법을 적용하여 채널 도파로의 폭과 두께에 따른 최소의 반사율($\sim 10^{-8}$)을 나타내는 코팅층의 최적 굴절율(n_{opt})과 정규화된 최적 코팅 두께($n_{opt} \cdot h_{opt} / \lambda$)를 구하였고 이를 유효 굴절율 방법(effective index method ;EIM)을 사용하여 구한 값과 비교하였다. 또한 VM과 EIM을 사용하여 구한 공차지도(단면 반사율을 10^{-4} 이하로 얻을 수 있는 코팅 굴절율과 코팅 두께의 범위를 나타내는 그림) 결과들을 제시하고 비교하였다.

II. 매립형 도파로 소자의 최적 무반사 코팅

2.1 무반사 코팅설계에 사용된 레이저 다이오드 모델

그림 1은 해석에 사용된 단층 무반사 코팅을 가지는 레이저 다이오드의 개념도이다. 사용되는 파라메타값은 파장 λ 가 $1.55 \mu\text{m}$, 활성층 영역의 굴절율(n_a)이 3.54, 클래딩층의 굴절율(n_c)이 3.21이다. 도파로 두께(d)가 $0.2 \mu\text{m}$ 와 $0.6 \mu\text{m}$ 일 때 도파로 폭(w)을 $0.2 \mu\text{m}$ 에서 $4 \mu\text{m}$ 까지 변화시키면서 VM을 사용하여 구한 최적 코팅 굴절율과 정규화된 최적 코팅 두께를 EIM을 사용하여 구한 값과 비교하였다.

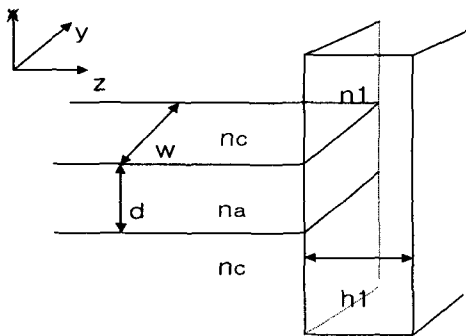


그림 1. 해석에 사용된 단층 무반사 코팅을 가지는 레이저 다이오드의 개념도

2.2 무반사 코팅층의 최적 코팅 굴절율과 코팅 두께에 관한 결과

그림 2와 3은 각각 도파로 두께가 $0.2 \mu\text{m}$ 와 $0.6 \mu\text{m}$ 일

때 VM과 EIM을 사용하여 구한 도파로 폭에 따른 최적 코팅 굴절율의 변화를 보여준다. 도파로 폭이 증가할수록 그림 2와 3 모두 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 경우 최적 코팅 굴절율은 각각 slab 도파로의 최적 코팅 굴절율로 접근하였다.

VM을 사용하여 구한 quasi-TE 모드의 최적 코팅 굴절율은 도파로 두께가 $0.2 \mu\text{m}$ 와 $0.6 \mu\text{m}$ 일 때 모두 도파로 폭이 $1.2 \mu\text{m}$ 에서 최적 코팅 굴절율이 최대치를 나타냈으나 Quasi-TM 모드의 경우 최적 코팅 굴절율은 도파로 폭이 감소함에 따라 점차 감소하여 $0.5 \mu\text{m}$ 이하의 도파로 폭에서는 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 최적 굴절율 값이 거의 일치하였고 또한 클래딩층으로만 구성된 물질과 공기 사이의 코팅층의 굴절율($\rightarrow 1.79$)로 접근함을 볼 수 있었다. EIM을 사용한 경우에는 quasi-TE 모드의 경우 도파로 두께가 $0.2 \mu\text{m}$ 일 때 도파로 폭이 $1.2 \mu\text{m}$ 에서 최대치를 갖고 도파로 폭이 감소함에 따라 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 최적 코팅 굴절율이 서로 접근하지만 클래딩층으로만 구성된 물질과 공기 사이의 코팅층의 최적굴절율($\rightarrow 1.79$)값과 큰 차이를 보이며 도파로 두께가 $0.6 \mu\text{m}$ 인 경우에는 도파로 폭이 감소함에 따라 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 최적 코팅 굴절율 값이 큰 차이를 보임을 알 수 있었다.

그림 4와 5는 각각 도파로 두께가 $0.2 \mu\text{m}$ 와 $0.6 \mu\text{m}$ 일 때 VM과 EIM을 사용하여 구한 도파로 폭에 따른 정규화된 최적 코팅 두께의 변화를 보여준다. 정규화된 최적 코팅 두께의 경우도 도파로 폭이 증가할수록 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 경우 각각 slab 도파로의 정규화된 최적 코팅 두께로 접근하였다.

그림 4와 5에서 알 수 있듯이 도파로 두께가 $0.2 \mu\text{m}$ 와 $0.6 \mu\text{m}$ 에서 VM을 사용하여 구한 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 정규화된 최적 코팅 두께는 도파로 폭이 작아짐에 따라 그 차이가 감소하여 $0.5 \mu\text{m}$ 이하에서는 거의 같으며 그 값은 클래딩층으로만 구성된 물질과 공기 사이의 코팅층의 정규화된 최적 코팅 두께($\rightarrow 0.25$)로 접근함을 볼 수 있었다. 그러나 EIM을 사용하여 구한 정규화된 최적 코팅 두께는 도파로 폭이 감소함에 따라 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 값이 큰 차이를 보였다.

한편 그림 2, 3, 4와 5에서 알 수 있듯이 VM의 경우 도파로 두께가 $0.2 \mu\text{m}$ 와 $0.6 \mu\text{m}$ 에서 도파로 폭이 감소함에 따라 최적 코팅 굴절율과 정규화된 최적 코팅 두께의 값이 클래딩층으로만 구성된 물질과 공기 사이의 코팅층의 최적굴절율과 정규화된 최적 코팅 두께에 접근하는 정도의 차이가 있음을 알 수 있었다. 도파로 두께가 $0.2 \mu\text{m}$ 인 경우가 도파로 두께가 $0.6 \mu\text{m}$ 인 경우

에 비해서 클래딩층으로만 구성된 물질과 공기 사이의 코팅층의 최적 코팅 굴절율과 정규화된 최적 코팅 두께에 더 정확하게 접근하는 것을 볼 수 있었다. 그 이유는 도파로 두께가 작은 경우가 큰 경우에 비하여 같은 도파로의 폭에 대하여는 클래딩층의 영향이 크기 때문이다.

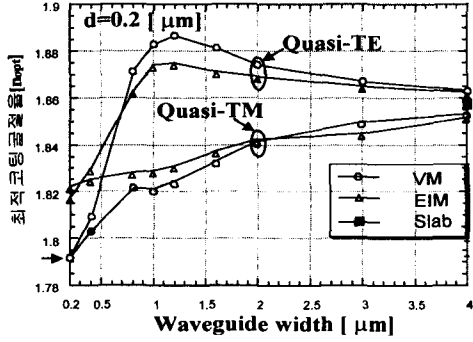


그림 2. 도파로 폭에 따른 최적 코팅 굴절율 ($d=0.2 \mu\text{m}$)

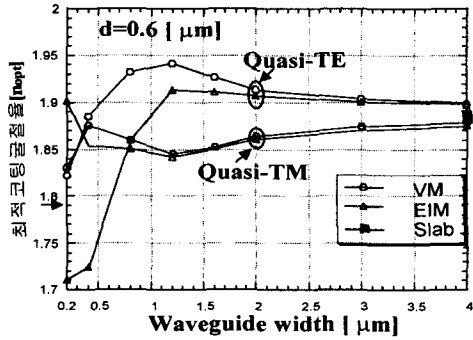


그림 3. 도파로 폭에 따른 최적 코팅 굴절율 ($d=0.6 \mu\text{m}$)

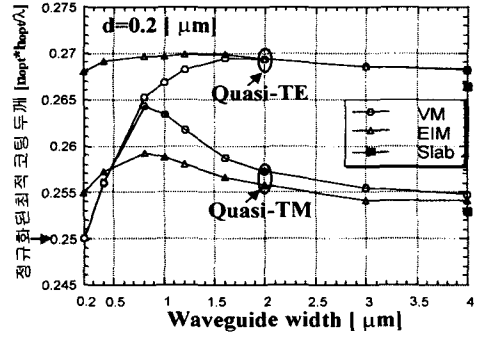


그림 4. 도파로 폭에 따른 정규화된 최적 코팅 두께 ($d=0.2 \mu\text{m}$)

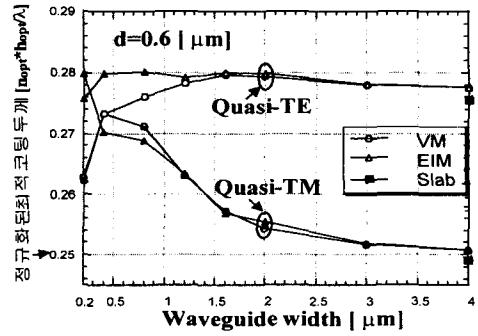


그림 5. 도파로 폭에 따른 정규화된 최적 코팅 두께 ($d=0.6 \mu\text{m}$)

III. 공차지도

무반사 코팅 제작시 중요하게 사용되리라 예상되는 공차지도를 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드에 있어서 도파로 두께가 $0.2 \mu\text{m}$ 이고 도파로 폭이 $0.4 \mu\text{m}$ 일 때 VM과 EIM 사용하여 구하였다.

그림 6에서 보면 quasi-TE 모드의 경우 VM과 EIM에 있어서 공차지도의 차이가 큼을 알 수 있었다. 그림 7의 경우 quasi-TM 모드에 있어서 VM과 EIM의 공차지도의 차이가 quasi-TE 모드보다 작음을 볼 수 있었다. 한편 도파로 두께가 $0.2 \mu\text{m}$ 이고 도파로 폭이 $0.4 \mu\text{m}$ 인 경우 VM에 있어서 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 공차지도가 비슷한 영역에 분포하는 반면 EIM의 경우에는 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 공차지도의 분포가 큰 차이를 보이는 것을 볼 수 있었다.

IV. 참고문헌

- [1] S. Kitamura et. al., *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 6 no. 2, pp. 173-175, 1994.
- [2] Y. Inoue et. al., *IEEE Photon. Lett.*, vol. 4, pp. 36-38, Jan. 1992.
- [3] Dietmar Johlen et.al., *J. Lightwave Technol.*, vol. 4, pp. 36-38, Jan. 1992
- [4] Jens Buss et.al., *IEEE J. Quantum Electron*, vol.27, no. 6, pp.1837-1842, 1991.

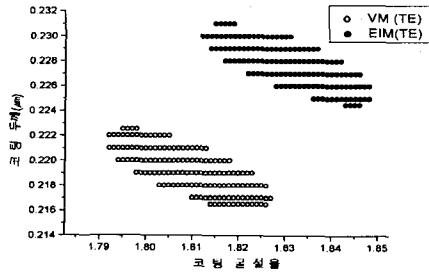


그림 6. $d=0.2 \mu\text{m}$, $w=0.4 \mu\text{m}$ 일 때 quasi-TE 모드의 공차지도 ($R < 10^{-4}$)

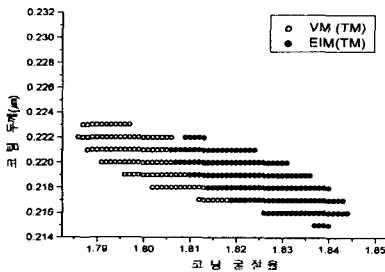


그림 7. $d=0.2 \mu\text{m}$, $w=0.4 \mu\text{m}$ 일 때 quasi-TM 모드의 공차지도 ($R < 10^{-4}$)

IV. 결론

위의 결과와 검토를 통하여 채널 도파관 소자의 2차원 필드 분포의 정확도가 단일 무반사 코팅층의 최적 코팅굴절율과 정규화된 최적 코팅 두께에 영향을 미침을 알 수 있었다. EIM으로 구한 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 최적 코팅 굴절율과 정규화된 최적 코팅 두께는 aspect ratio가 1에 가까울수록 큰 차이를 보이는 반면 VM의 경우에는 거의 일치하며 또한 그 값들이 도파로 폭이 작아질수록 클래딩층으로만 구성된 물질과 공기 사이의 코팅층의 최적 코팅 굴절율과 정규화된 최적 코팅 두께 값으로 접근함을 볼 수 있었다.

공차지도의 경우는 도파로 두께가 $0.2 \mu\text{m}$ 이고 도파로 폭이 $0.4 \mu\text{m}$ 일 때 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드가 VM의 경우 비슷한 영역에 분포하는 반면 EIM의 경우에는 두 영역이 상당히 떨어져있음을 알 수 있었다.