

論文2000-37SD-11-5

Variational 방법으로 구한 필드 분포를 이용한 도파로 폭에 따른 Buried Channel Waveguides의 단면 반사율 (Facet Reflectivities as a Function of Waveguide width of Buried Channel Waveguides using the Field Profiles Obtained by the Variational Method)

金相澤*, 金東厚*, 金富均*

(Sang-Taek Kim, Dong-Hoo Kim, and Boo-Gyoun Kim)

요 약

Buried channel waveguides의 필드 분포에 대한 analytic 표현식을 effective index method (EIM), variational method (VM)와 각각의 방향으로의 경계조건을 적용한 variational method (VM_vec)를 사용하여 구한 뒤 angular spectrum 방법을 적용하여 도파로 폭에 따른 단면 반사율을 계산하고 이를 비교 검토하였다. 도파로 폭이 커질수록 buried channel waveguides의 단면 반사율은 slab 도파로의 단면 반사율에 접근하였고 도파로 폭이 작아질수록 slab 도파로의 단면 반사율로부터 quasi-TE 모드의 단면 반사율은 감소하였고 quasi-TM 모드의 단면 반사율은 증가하였다. 도파로 폭에 따른 단면 반사율 변화량은 quasi-TM 모드보다 quasi-TE 모드에 대한 변화량이 크게 나타남을 알 수 있었다. Aspect ratio가 1일 때 VM과 VM_vec으로 구한 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 반사율은 거의 일치하였으나 EIM으로 구한 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 반사율은 차이가 크게 나타났다. Quasi-TE 모드의 경우는 VM_vec으로 구한 필드 분포에 angular spectrum 방법을 적용하여 계산한 단면 반사율이 EIM으로 구한 반사율보다 정확한 값을 알 수 있었고 quasi-TM 모드의 경우는 각 방법으로 구한 반사율이 거의 같음을 볼 수 있었다.

Abstract

We calculate the facet reflectivity as a function of the waveguide width of buried channel waveguides using the angular spectrum method and the field profiles obtained by the effective index method, the variational method and the modified variational method, respectively and discuss the results. As the waveguide width increases, the facet reflectivity of buried channel waveguides approaches to that of slab waveguides. As the waveguide width decreases, the facet reflectivity of quasi-TE mode decreases from that of slab waveguides, while that of quasi-TM mode increases from that of slab waveguides. The variation of the facet reflectivity of quasi-TE mode as a function of waveguide width is much larger than that of quasi-TM mode. When the aspect ratio is one, the difference between the facet reflectivity of quasi-TE mode and that of quasi-TM mode using the variational method and the modified variational method is negligible, while the difference between the facet reflectivity of quasi-TE mode and that of quasi-TM mode using the effective index method is large. In the case of quasi-TE mode, the facet reflectivity using the angular spectrum method and the field profiles obtained by the modified variational method could be more accurate than that obtained by the effective method. In the case of quasi-TM mode, the facet reflectivities obtained by the various methods are almost the same.

* 正會員, 崇實大學校 情報通信電子工學部
(School of Electronic Engineering, Soongsil
University)

※ 본 연구는 정보통신부에서 지원하는 99년도 대학기
초연구지원사업으로 수행되었습니다.
接受日字:2000年 3月28日, 수정완료일:2000年 8月25日

I. 서 론

단면 반사율은 반도체 레이저 다이오드, 반도체 광 증폭기(semiconductor optical amplifier, SOA) 등과 같은 광 도파로 소자들의 특성을 결정짓는 중요한 파라메타이다. 따라서 광 도파로 소자의 단면 반사율을 정확하고 신속하게 계산하기 위하여 많은 연구가 행해졌다^[1,2]. 많은 경우에 있어서 광 도파로 소자의 단면 반사율을 계산할 때 광 도파로 소자를 측면 방향으로 동일한 굴절율을 가지는 slab 도파로로 가정하고 1차원의 필드 분포를 사용하여 단면 반사율을 계산하였다. 그러나 실제 사용되는 광 도파로 소자는 측면 방향으로도 일정한 폭을 가지는 채널 도파로 구조이다^[2]. 특히 SOA와 silica 도파관 소자의 경우 편광에 따른 특성 변화가 작은 구조를 구현하기 위하여 buried channel waveguides의 코어의 폭을 코어의 두께와 거의 같게 (aspect ratio ≈ 1) 설계한 구조에 대한 연구가 진행되고 있다^[3,4].

2차원 구조를 가진 도파관 소자의 반사율을 계산하기 위하여 Kawano^[5] 등은 bi-directional method of line BPM 방법을 사용하여 strip-loaded optical waveguide 와 buried channel optical waveguide 의 단면 반사율을 도파로 폭의 함수로 계산하였다. 그러나 bi-directional method of line BPM 방법과 같은 수치 해석적인 방법을 사용하는 경우 반사율을 계산하는데 많은 시간이 소요되고 또한 무반사 코팅과 같은 코팅층의 굴절율과 두께를 계산하는데 어려움이 많으리라 예상된다. Buus^[2] 등은 buried channel optical waveguide의 단면 반사율을 유효굴절율 방법을 사용하여 buried channel optical waveguide 의 2차원 필드 분포에 대한 analytic 표현식을 구한 뒤 angular spectrum 방법을 적용하여 반사율을 구하였다. 그러나 유효굴절율 방법을 사용하여 구한 2차원의 필드 분포는 aspect ratio가 작을 때는 정확한 필드 분포와의 오차가 크게 나타남으로서 반사율 또한 큰 오차를 초래한다는 단점이 있다. 그 이유는 angular spectrum 방법을 사용하여 단면 반사율을 구할 때 사용하는 필드 분포에 대한 analytic 표현식과 유효굴절율의 정확도가 반사율 값의 정확도에 큰 영향을 미치기 때문이다^[1].

2차원 도파로의 필드 분포를 구하는 방법에는 beam

propagation method (BPM), finite difference method (FDM), 유효굴절율 방법 (effective index method, EIM), variational method (VM)^[6] 등이 있다. 이 중에서 BPM 과 FDM 같은 수치 해석적인 방법을 사용하여 구한 필드 분포는 analytic한 수식으로 표현되지 않기 때문에 angular spectrum 방법을 사용하여 단면 반사율과 코팅층의 파라메타들을 계산하는데 큰 어려움이 있다. 또한 유효굴절율 방법을 사용하여 구한 필드 분포는 buried channel waveguide 의 코어의 폭이 코어의 두께보다 매우 큰 경우에는 유효하나 aspect ratio가 작을 때는 정확한 필드 분포와의 오차가 크게 나타남으로서 반사율 또한 큰 오차를 초래한다. 반면에 variational method를 사용하여 구한 필드 분포는 buried channel waveguide의 aspect ratio에 관계없이 정확한 필드 분포와 오차가 크게 발생하지 않는다.

따라서 본 논문에서는 이러한 buried channel waveguides의 2차원 필드 분포를 VM^[6]을 사용하여 구한 뒤 angular spectrum 방법을 적용하여 채널 도파로의 폭에 따른 반사율을 구하였고 이를 유효굴절율 방법을 사용하여 구한 2차원 필드 분포에 angular spectrum 방법을 적용하여 채널 도파로의 폭에 따른 반사율과 비교 검토하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 channel waveguide의 필드 분포의 analytic 표현식을 얻을 수 있는 방법인 VM에 대하여 간단히 설명하였다. 3장에서는 channel waveguide의 필드 분포에 angular spectrum 방법을 사용하여 buried channel waveguide의 단면 반사율을 계산하는 방법에 대하여 설명하였다. 4장에서는 VM과 유효굴절율 방법을 사용하여 구한 buried channel waveguide의 필드 분포의 정확도를 검증하기 위하여 각 방법으로 구한 전파상수 값을 BPM^[8]을 이용하여 구한 전파상수 값과 비교 검토하였다. 또한 각 방법으로 구한 필드 분포를 이용하여 도파로 폭에 따른 단면 반사율을 계산하고 이를 비교 검토하였다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. Variational Method

채널 도파관의 transverse 방향의 필드 분포는 스칼라 파동 근사를 사용하면 다음과 같은 스칼라 파동

방정식을 만족한다.

$$\{ \nabla_t^2 + k_0^2 n^2(x, y) - \beta^2 \} \Psi(x, y) = 0 \quad (1)$$

여기서 β 는 스칼라 모드에 대한 전파 상수이고 $\Psi(x, y)$ 는 필드 분포이며 $k_0 = \omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$ 이고 첨자 t 는 transverse 방향 성분을 나타낸다.

식 (1)의 양변에 각각 $\Psi^*(x, y)$ 를 곱하고 부분적분을 취하면 다음 식을 얻게된다^[6].

$$\beta^2 = \frac{k_0^2 \int n^2(x, y) |\Psi(x, y)|^2 da - \int |\nabla_t \Psi(x, y)|^2 da}{\int |\Psi(x, y)|^2 da} \quad (2)$$

스칼라 파동 방정식으로부터 유도된 variational 표현식 (2)에서 $\Psi(x, y)$ 가 연속이고 또한 1차 미분도 연속인 경우 β^2 이 최대가 되는 파라메타 값을 가지는 $\Psi(x, y)$ 가 정·확한 스칼라 모드에 대한 필드 분포에 매우 가깝게 된다^[6]. 식 (2)의 variational 표현식에서 사용하는 필드 분포 $\Psi(x, y)$ 의 trial function으로는 Kumar^[7] 등이 제안한 채널 도파로의 필드 분포를 사용하면 실제 채널 도파로 구조의 필드 분포와 차이가 매우 작기 때문에 식 (2)에서 β^2 이 최대가 되는 파라메타 값을 가지는 정확한 필드 분포 $\Psi(x, y)$ 를 좀 더 정확하고 빠르게 구할 수 있다.

그러나 식 (2)는 스칼라 파동 방정식으로부터 유도되었기 때문에 각각의 경계면상에서 정확한 경계조건을 적용하지 못한 필드 분포에 대한 표현식이다. 따라서 벡터 모드, 즉 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의, 필드 분포의 정확한 analytic 표현식을 구할 수 없는 한계가 있다. 그러므로 본 논문에서는 스칼라 모드에 대한 variational 표현식에 각각의 경계면상에서의 경계조건을 적용하여 식 (2)의 β^2 이 최대값을 가질 때의 필드 분포를 구하는, VM과 약간 변형된, VM_vec 방법을 시도해 보았다. VM_vec 방법은 quasi-TE 모드의 경우 x 면상에서 $\partial \Psi(x, y) / \partial x$ 과 y 면상에서 $(1/n_i^2) \partial \Psi(x, y) / \partial y$ 이 연속이어야 하며, quasi-TM 모드의 경우 x 면상에서 $(1/n_i^2) \partial \Psi(x, y) / \partial x$ 과 y 면상에서 $\partial \Psi(x, y) / \partial y$ 이 연속이어야 한다. 그러나 이 방법 또한 식 (2)를 유도하기 위하여 가정된 필드 분포가 연속이고 1차 미분도 연속이라는 조건을 만족하지 못하는 한계를 지니고 있다.

III. Buried channel waveguide에서의 단면 반사율 수식

그림 1은 단면 반사율을 계산하기 위한 레이저 다이오드의 채널 도파로 구조의 단면도와 입사파의 진행 방향과 입사면을 나타내는 개념도이다. 그림 1에서 w 는 도파로 폭을 나타내며, d 는 두께, n_a 는 코어의 굴절율, n_c 는 코어를 둘러싼 클래딩의 굴절율을 나타낸다.

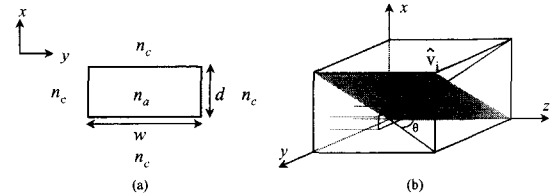


그림 1. (a) 해석에 사용된 채널 도파로 구조의 단면도 (b) 입사면과 입사파의 진행 방향 및 각도의 정의를 나타내는 그림

Fig. 1. (a) Cross section of channel waveguides used in the analysis. (b) Definition of angles and propagation direction of incident plane wave and incident plane.

그림 1(a)에서의 필드 분포 $\Psi(x, y, z)$ 는 변수 분리가 가능하다면 다음 식과 같이 근사적으로 표현할 수 있다.

$$\Psi(x, y, z) = f(x) g(y) e^{-i\beta z} \quad (3)$$

여기서 $f(x)$ 는 x 방향으로의 필드 분포이고 $g(y)$ 는 y 방향으로의 필드 분포이다. 필드 분포에 대한 angular spectrum은 푸리에 변환으로부터 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$F(s, t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) e^{isx} dx \int_{-\infty}^{\infty} g(y) e^{ity} dy \quad (4)$$

여기서 $s = k0 n_{eff} \sin \phi$ 이고 $t = k0 n_{eff} \sin \theta$ 이며, n_{eff} 는 레이저 다이오드를 에너지 관점에서 본 유효 굴절율이고 ϕ 는 그림 1(b)에서와 같이 입사파의 진행 방향이 x 방향과 이루는 각도이며, θ 는 입사파의 진행 방향이 y 방향과 이루는 각도이다.

그림 1(a)에서와 같이 y 방향으로 일정한 폭 w 를 가지고 있기 때문에 레이저 다이오드의 필드의 진행 방향은 x 방향뿐만 아니라 y 방향으로도 일정한 각도

를 가지고 진행하게 된다. 따라서 입사면은 그림 1 (b)와 같이 $x-y$ 평면에 수직이고 x 축과 일정한 각도를 가지는 면으로 입사면에 수직인 벡터, $\hat{v}_n (= (\hat{v}_i \times \hat{v}_r) / (|\hat{v}_i \times \hat{v}_r|))$ 으로 정의된다. 여기서 \hat{v}_i 는 입사파의 진행 방향의 단위 벡터이고 \hat{v}_r 은 반사파의 진행방향의 단위 벡터이다.

따라서 입사면상에 각도 ϕ 의 각도로 입사하는 진행파의 polarization 벡터를 입사면에 수직인 성분과 입사면에 놓인 성분으로 분리한 다음 각각에 대하여 Fresnel 반사율 식을 적용하여 반사계수, $r(s, t)$ 를 구하면 반사율은 다음 식으로부터 구할 수 있다^[2].

$$R = \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(s, t) F^*(s, t) r(s, t) ds dt \right|^2}{\left| \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(s, t) F^*(s, t) ds dt \right|^2} \quad (5)$$

$$r(s, t) = \frac{\tan^2 \phi}{\tan^2 \phi + \tan^2 \theta} \cos^2 \theta r_{\perp}(\phi) + \left(\cos 2\phi - \frac{\tan^2 \phi}{\tan^2 \phi + \tan^2 \theta} \cos^2 \theta \right) r_{\parallel}(\phi)$$

여기서 $r_{\perp}(\phi)$ 와 $r_{\parallel}(\phi)$ 은 입사면에 대하여 수직인 성분과 수평인 성분에 대한 Fresnel 반사 계수이다.

IV. 계산 결과 및 검토

Angular spectrum 방법을 사용하여 그림 1(a)의 채널 도파로 구조의 단면 반사율을 구하기 위해서는 2차원 필드 분포의 정확한 analytic 표현식이 필요하고

이러한 필드 분포 정확도는 반사율 값에 큰 영향을 미친다. 따라서 채널 도파로의 2차원의 필드 분포를 스칼라 모드에 대한 VM, 각각의 방향으로의 경계조건을 적용한 VM_vec, 그리고 EIM을 사용하여 구하였고 이러한 필드 분포의 정확도를 검토하기 위하여 각각의 방법으로 구한 전파상수 값을 BPM^[8]으로 구한 전파상수 값과 비교하였다. 표 1은 그림 1(a)의 채널 도파로 구조에서 $n_a = 3.52$, $n_c = 3.21$, $d = 0.4 \mu\text{m}$, $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ 일 때, VM, VM_vec, EIM, 그리고 BPM을 사용하여 구한 도파로 폭에 따른 전파상수이다.

표 1에서 알 수 있듯이 quasi-TE 모드의 경우 계산된 전체 도파로 폭에 대하여 VM_vec 방법을 사용하여 구한 전파상수 (β_{VM}^{TE})가 BPM으로 구한 전파상수 (β_{BPM}^{TE})와 가장 가까운 값으로, $w = 4 \mu\text{m}$ 일 때 BPM으로 구한 전파상수와 일치하였고 w 가 작아질수록 오차가 커져 $w = 0.4 \mu\text{m}$ 일 때는 BPM으로 구한 전파상수와의 오차는 0.16%였다. 또한 $w = 0.4 \mu\text{m}$ 일 때(aspect ratio=1) VM_vec으로 구한 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 전파상수는 일치하였다. Quasi-TE 모드의 경우 도파로 폭에 따른 VM으로 구한 전파상수 (β_{scalar})는 VM_vec을 사용하여 구한 전파상수 (β_{VM}^{TE})와 거의 차이가 없었다.

Quasi-TM 모드의 경우 $w = 0.4 \mu\text{m}$ 일 때는 VM_vec을 사용하여 구한 전파상수 (β_{VM}^{TM})가 BPM으로 구한 전파상수 (β_{BPM}^{TM})와 가장 가까운 값으로서 오차는 0.16%이었으며 EIM으로 구한 전파상수와 BPM으로 구한 전파상수와의 오차는 0.35

표 1. Variational method, 각각의 방향으로의 경계조건을 적용한 variational method, effective index method와 beam propagation method를 사용하여 구한 도파로 폭에 따른 전파상수 [μm^{-1}]
Table 1. The propagation constant as a function of waveguide width using the variational method, the modified variational method, the effective index method and the beam propagation method [μm^{-1}].

w [μm]	Variational method (VM)	VM_vec		Effective index method (EIM)		BPM	
	β_{scalar}	β_{VM}^{TE}	β_{VM}^{TM}	β_{EIM}^{TE}	β_{EIM}^{TM}	β_{BPM}^{TE}	β_{BPM}^{TM}
0.4	15.8922	15.8904	15.8904	15.9367	15.9203	15.8654	15.8654
0.8	16.1916	16.1906	16.1895	16.2002	16.1538	16.1788	16.1387
1.2	16.2983	16.2978	16.2961	16.3011	16.2446	16.2927	16.2397
1.6	16.3465	16.3462	16.3443	16.3477	16.2874	16.3438	16.2864
2	16.3721	16.3719	16.3699	16.3727	16.3107	16.3707	16.3112
3	16.4006	16.4006	16.3984	16.4008	16.3373	16.4003	16.3392
4	16.4118	16.4118	16.4096	16.4119	16.3480	16.4118	16.3502

%이었다. $w \geq 0.8 \mu\text{m}$ 일 때는 EIM 방법을 사용하여 구한 전파상수 ($\beta_{\text{EIM}}^{\text{TM}}$)가 VM과 VM_vec으로 구한 전파상수보다 BPM으로 구한 전파상수 ($\beta_{\text{BPM}}^{\text{TM}}$)에 근접한 값으로서 $w = 0.8 \mu\text{m}$ 일 때는 BPM으로 구한 전파상수와 오차는 0.093%이었고 $w = 4 \mu\text{m}$ 일 때 BPM으로 구한 전파상수와 오차는 0.013%였다.

그림 2는 그림 1(a) 구조에서 $n_a = 3.52$, $n_c = 3.21$, $d = 0.4 \mu\text{m}$, $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ 일 때 도파로 폭을 변화시키면서 구한 단면 반사율이다. 채널 도파로의 2차원의 필드 분포를 스칼라 모드에 대한 VM, 각각의 방향으로의 경계조건을 적용한 VM_vec, 그리고 EIM을 사용하여 구한 뒤 angular spectrum 방법을 적용하여 단면 반사율을 구하고 각각 비교 검토하였다.

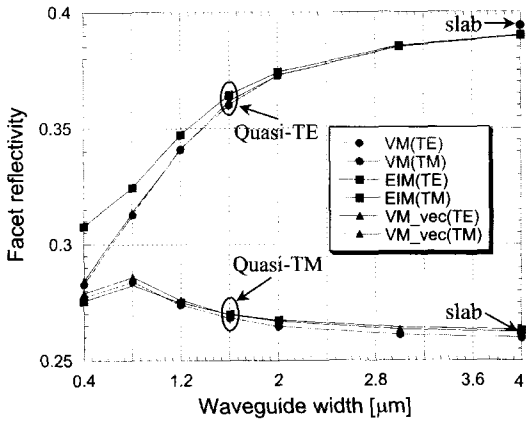


그림 2. 도파로 폭에 따른 단면 반사율
Fig. 2. The facet reflectivity as function of waveguide width.

Quasi-TE 모드의 경우 계산된 전 도파로 폭에 대하여 VM을 사용하여 구한 반사율과 VM_vec을 사용하여 구한 반사율 사이의 차이는 무시할 수 있을 정도이었고 bi-directional method of line BPM^[5] 방법을 사용하여 구한 반사율 값과 비슷한 경향을 볼 수 있었다. 도파로 폭이 커질수록 VM을 사용하여 구한 반사율, VM_vec을 사용하여 구한 반사율과 EIM을 사용하여 구한 반사율은 $n_a = 3.52$, $n_c = 3.21$, $d = 0.4 \mu\text{m}$ 인 slab 도파로의 반사율에 접근함을 볼 수 있었다. 또한 도파로 폭이 작아질수록 세 가지 방법으로 구한 반사율은 slab 도파로의 반사율로부터 감소하였다. 이것은 도파로 폭이 작아질수록 y 방향으로 나타나는 TM 모드의 효과가 커지기 때문이다. 그러나 도파로 폭이 작아질수록 VM과 VM_vec을 사용하여 구한 단

면 반사율이 EIM을 사용하여 구한 단면 반사율보다 반사율의 감소량이 크게 나타났으며 $w = 0.4 \mu\text{m}$ 일 때 (aspect ratio=1)는 EIM을 사용하여 구한 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 반사율은 차이가 컸으나 VM과 VM_vec으로 구한 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 반사율은 거의 일치하였다. $w = 0.4 \mu\text{m}$ 일 때 VM과 VM_vec을 사용하여 구한 단면 반사율과 EIM을 사용하여 구한 단면 반사율의 차이는 8.2%이었다. $w = 0.4 \mu\text{m}$ 일 때 (aspect ratio=1) VM과 VM_vec으로 구한 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 반사율의 차이는 1.9%로서 이와 같은 차이가 나는 이유는 입사파와 반사파의 polarization matching이 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드가 다르기 때문이라 생각된다.

Quasi-TM 모드의 경우 세 가지 방법으로 구한 단면 반사율은 도파로 폭 전 구간에 대해 거의 일치함을 알 수 있다. 도파로 폭이 커질수록 세 가지 방법으로 구한 단면 반사율은 $n_a = 3.52$, $n_c = 3.21$, $d = 0.4 \mu\text{m}$ 일 때의 slab 도파로의 반사율에 접근하였다. 도파로 폭이 작아질수록 세 가지 방법으로 구한 단면 반사율은 도파로 폭이 $0.8 \mu\text{m}$ 까지는 slab 도파로에서의 반사율로부터 약간 증가하였다. 이것은 도파로 폭이 작아질수록 y 방향으로 나타나는 TE 모드의 효과가 커지기 때문이다.

도파로 폭이 작아짐에 따라 VM과 VM_vec을 사용하여 구한 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 단면 반사율은 채널 도파로의 클래딩만으로 구성된 물질의 단면 반사율 값, 0.275로 접근함을 알 수 있었다. 그러나 유효굴절률 방법으로 구한 단면 반사율은 차이가 크게 나타났다.

도파로 폭에 따른 단면 반사율의 변화는 quasi-TE 모드가 quasi-TM 모드에 비해 변화량이 컸다. Quasi-TE 모드의 경우 도파로 폭이 $0.4 \mu\text{m}$ 에서 VM_vec로 구한 단면 반사율은 도파로 폭이 $4 \mu\text{m}$ 일 때의 단면 반사율에 비하여 27% 감소하였다. 그러나 quasi-TM 모드의 경우 도파로 폭이 $0.8 \mu\text{m}$ 일 때 VM_vec로 구한 단면 반사율과 EIM으로 구한 단면 반사율은 도파로 폭이 $4 \mu\text{m}$ 일 때 EIM으로 구한 단면 반사율에 비하여 각각 8.0%와 7.4% 증가하여 quasi-TE 모드에 비해 변화폭이 상당히 작았다.

위의 결과와 검토를 통하여 buried channel waveguide의 단면 반사율을 계산할 때 사용되는 필

드 분포의 analytic 표현식은 단면 반사율 값에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 유효굴절율 방법으로 구한 2차원의 필드 분포는 잘 알려진 바와 같이 aspect ratio가 작은 영역에서는 정확한 필드 분포와 오차가 커짐으로서 단면 반사율 또한 정확한 값과 오차가 크게 나타남을 알 수가 있었다. 그러나 aspect ratio와 상관없이 정확한 필드 분포와 오차가 적은 VM과 VM-vec를 사용하면 정확한 단면 반사율 값과 오차를 줄일 수 있음을 알 수 있었다.

V. 결 론

Buried channel waveguide의 필드 분포에 대한 analytic 표현식을 VM, VM_vec, EIM을 사용하여 구한 뒤 angular spectrum 방법을 적용하여 도파로 폭에 따른 단면 반사율을 계산, 비교 검토하였다. 세 가지 방법으로 구한 필드 분포의 정확도를 검토하기 위하여 각각의 방법으로 구한 전파상수 값을 BPM으로 구한 전파상수 값과 비교하였다.

계산 결과와 검토를 통하여 buried channel waveguide의 단면 반사율을 계산할 때 사용되는 필드 분포의 analytic 표현식은 단면 반사율 값에 큰 영향을 미침을 알 수 있었다. 채널 도파로의 aspect ratio와 상관없이 정확한 필드 분포와 오차가 적은 VM과 VM_vec를 사용하여 2차원의 필드 분포를 구한 뒤 angular spectrum 방법을 사용하여 계산한 단면 반사율 차이는 도파로 폭의 전 구간에서 무시할 정도로 매우 작았고, 유효굴절율 방법이 잘 적용되는 영역에서는 각각의 방법으로 구한 단면 반사율은 거의 일치하였다. 그러나 도파로 폭이 더욱 작아져 aspect ratio가 1일 때 유효굴절율 방법을 사용하여 구한 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 단면 반사율 차이는 매우 크게 나타났으나 VM으로 구한 quasi-TE 모드와 quasi-TM 모드의 단면 반사율이 거의 일치하였다.

또한 buried channel waveguide의 도파로 폭에 따른 단면 반사율 변화량은 quasi-TM 모드보다 quasi-TE 모드에 대한 변화량이 크게 나타남을 알 수 있었다.

따라서 VM과 VM_vec으로 구한 채널 도파로의 필드 분포의 analytic 표현식에 angular spectrum method를 사용하면 채널 도파로의 무반사 코팅층과

같은 코팅층의 코팅 파라메타를 신속하면서도 정확하게 계산하여 무반사 코팅층 설계에 사용할 수 있다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 김용곤, 김부균, 주홍로, "다층 구조 도파관 소자 단면의 무반사 코팅 설계," 한국 통신학회 논문지, 제 21권, 제 7호, pp. 1850-1860, 1996
- [2] Jens Buus, Mark C. Farries, and David J. Robbins, "Reflectivity of Coated and Tilted Semiconductor Facets," *IEEE J. Quantum Electron.*, vol. 27, NO. 6, pp. 1837-1842, 1991.
- [3] S. Kitamura, K. Komatsu and M. Kitaura, "Polarization-Insensitive Semiconductor Optical Amplifier Array Grown by Selective MOVPE," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 6 no. 2, pp. 173-175, 1994.
- [4] Y. Inoue, K. Katoh, and M. Kawachi, "Polarization sensitivity of a silica waveguide thermo-optic phase shifter for planar lightwave circuits," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 4, pp. 36-38, Jan. 1992.
- [5] Kenji Kawano, Tsutou Kitoh, Masaki Kohtoku, Tatsuya Takeshita, and Yuji Hasumi, "3-D Semivectorial Analysis to Calculate Facet Reflectivities of Semiconductor Optical waveguide Based on the Bi-Directional method of Line BPM (MoL-BPM)," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 10, no. 1, pp. 108-110, 1998.
- [6] W. P. Huang, and H. A. Haus, "A simple variational approach to optical rib waveguide," *J. Lightwave Technol.*, vol. 9 no. 1, pp. 56-61, 1991.
- [7] A. Kumar, K. Thyayarajan and A. K. Ghatak, "Analysis of rectangular-core dielectric waveguide: An accurate perturbation approach," *Opt. Lett.*, vol. 8, pp. 63-65, 1983.
- [8] BeamPROP, Version 4.0, RSoft Inc., 1999.

저 자 소 개



金 相 澤(正會員)

1998년 2월 숭실대학교 전자공학과
공학사. 2000년 2월 숭실대학교 전
자공학과 공학석사. 2000년 2월~현
재 숭실대학교 전자공학과 박사과정.
주관심분야 : 광통신 및 광네트워크

용 소자, 광통신시스템, 광정보장치 등임

金 東 厚(正會員)

1998년 2월 숭실대학교 전자공학과 공학사. 2000년 8
월 숭실대학교 전자공학과 공학석사. 2000년 8월~현
재 LG innotek. 주관심분야 : 광통신 및 광네트워크
용 소자, 광통신시스템, 광정보장치 등임

金 富 均(正會員) 2000年 6月 電子工學會誌 第 27卷
第 6號 參照