어븀이 도핑 된 도파로형 광 증폭기의 구조 제안과 이득 특성
Layout design and Gain characteristics of Erbium-Doped Waveguide Amplifiers

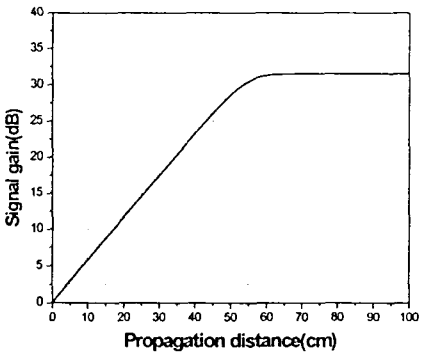
김부선*, 김정하, 이상선
한양대학교 전자통신전파공학과 광전자 연구실
euphony7@hanmail.net, http://oeic.hanyang.ac.kr

WDM 전송 방식에 광 증폭기의 개념을 도입하면 한 개의 광 선로를 통해 전달되어 오는 여러 채널의 광 신호를 광 증폭기를 이용하여 동시에 증폭해서 계속 전송하기 때문에 매우 저렴하게 전송 거리를 증가시킬 수 있다. 그러나 현재 광통신에 상용화되고 있는 EDFA는 광 증폭 효율은 좋으나 가격이 비싸고 부피가 커서 집적화와 소형화가 불가능하다. 따라서 기판상의 평면 도파로를 증폭 매질로 사용하여 EDFA와 동등한 성능을 가지며 펌프 레이저와 필터 등의 다른 구성 소자들과 집적화가 가능하고 저가격이며 소형인 도파로형 광 증폭기, EDWA(Erbium-Doped Waveguide Amplifier)에 대한 연구가 진행되어 왔다. 본 논문에서는 980㎚의 신호를 사용하여 펌핑하고 1535㎚의 신호를 증폭하는 어븀이 많이 도핑 된 도파로형 광 증폭기(EDWA)에 대해 직선 도파로에서 이득 특성을 구하고 이를 바탕으로 EDWA가 갖는 여러 가지 나선형의 구조들[1] 중 크기가 작으면서도 굽은 도파로로 인한 손실이 가장 적은 구조를 알아보아 이 구조에서 곡률에 따라 발생하는 손실을 Marcuse 모델[2]에 의해 계산하여 이득에서 빼 줌으로써 결과적으로 굽은 도파로를 포함한 EDWA의 이득 특성을 구하였다. 또 각각의 경우에 구조가 갖는 크기 또한 제시하여 이득 특성이 가장 좋으면서도 크기가 작을 때를 알아보았다.

다음 표1은 가정한 도파로의 파라미터들을 나타내고 그림 1은 직선 도파로에서 얻은 이득 특성을 보여준다.

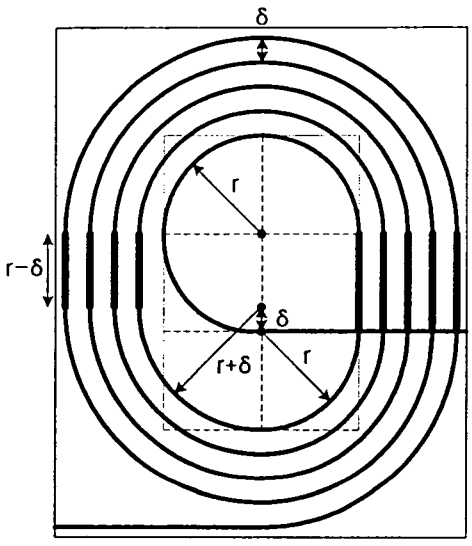
[표 1] 수치 해석에 사용 된 도파로 파라미터들

펌프 파장	λ_p = 980 ㎚
입력 파장	λ_s = 1535 ㎚
코어의 크기	2 × 2 μm^2
굴절률	n_{co} = 1.451, n_{cl} = 1.44, n_{eff} = 1.446856
Er^{3+}의 밀도	N_0 = 5.0 × 10^{25} [ions/m^3]
Er^{3+}에 의한 산란 손실	l_s = 15.475 [dB/m]
	l_p = 18.516 [dB/m]



[그림 1] 도파 거리 당 얻은 입력 신호의 이득

그림 1에서 볼 수 있듯이 도파 거리에 따라 이득이 점차 증가하다가 50 ㎝ 부근에서 감소를 보인다. 이득이 선형적으로 증가된 최고 길이는 50 ㎝ 지점임으로 EDWA의 길이를 50 ㎝ 로 정하였으며 이때 얻은 이득은 27 dB이다. 그림 2은 EDWA가 갖는 여러 가지 나선형의 구조들 중 크기가 작으면서도 굽은



[그림 2] 제안 된 EDWA의 구조

도파로로 인한 손실이 가장 적은 구조를 나타내고 있다. 이 구조에는 굽은 도파로가 포함되므로 이 구조를 50 ㎝ 길이로 고정한 상태에서 그림에서 볼 수 있는 회전의 수 N을 늘이거나 줄여 가면서 각 회전 수에서 정해지는 최소 곡률 r에따라 발생하는 굽음 손실이 얼마인지 Marcuse 모델에 의해 계산하였다. 이 손실을 직선 도파로에서 얻은 이득에서 빼주면 결과적으로 제안 된 그림 2의 구조에서 발생하는 실제 이득이 계산된다. 아래의 표 2는 이 결과를 나타내고 있다. 이 계산의 결과로 EDWA를 굽은 도파로에 의한 손실 없이 직선 도파로에서와 같은 이득을 얻도록 만들기 위해서 5.116 ㎜이상의 최소 반경을 갖도록 하는 것이 좋으며 그 때의 소자 면적은 189.14 ㎟ 이라는 것을 알았다. N이 9 이하인 경우에도 굽음에 의한 손실은 일어나지 않았지만 N이 10인 경우보다 소자의 크기가 커지므로 다루는 것이 무의미하다. N이 11인 경우에 50 ㎝ 도파 후 23.54 dB의 높은 이득을 얻었고 이는 0.47 dB/㎝의 이득이며 면적이 188.365 ㎟ 로 N이 10일 때보다 이득이 조금 작지만 크기는 더 작게 설계할 수 있었다. N이 12 이상인 도파로에서는 에는 굽음에 의한 손실이 너무 많았다. 제안 된 EDWA 구조의 최적의 상태를 설계할 때 어느 길이에서 어떤 곡률과 크기를 가지며 최고의 이득을 내는지 알아보려면 각 경우를 설정하고 각각에 대해 일일이 시뮬레이션해야 하며 결과를 비교해야 한다. 그러나 직선 도파로에 대한 이득 특성의 정보를 미리 알면 제안 된 구조를 이 길이에 맞춰 회전 수 별로 구성하고 각 경우에 굽은 도파로에 의한 손실을 계산해 이득에서 제하여 줌으로써 손쉽게 구조가 가질 수 있는 최적의 상태 즉, 가장 작은 구조에서 큰 이득을 얻는 경우를 찾을 수 있다.

[표 2] 회전 수에 따른 곡률 반경의 변화와 면적, 각각에 대한 굽음 손실과 실제 이득

회전 수 N	최소 곡률 r [㎜]	가로 [㎜]	세로 [㎜]	면적 [㎟]	굽음 손실 [dB]	실제 이득[dB]
7	7.249	15.998	22.247	371.91	2.812×10^{-4}	26.99
8	6.397	14.495	20.891	302.82	7.042×10^{-3}	26.99
9	5.706	13.31	19.018	253.13	8.72×10^{-2}	26.99
10	5.116	12.33	15.34	189.14	6.52×10^{-1}	26.348
11	4.684	11.596	16.244	188.365	3.45×10^{0}	23.54
12	4.231	10.962	15.193	166.546	1.889×10	8.11
13	3.867	10.436	14.301	149.245	8.161×10	0

[Reference]

1. Daniel Lowe, Richard R. A. Syms, Weibin Huang, "Layout Optimization for Erbium-Doped Waveguide Amplifiers," *J. Lightwave Technol.*, vol. 20, NO. 3, Mar. 2002.

2. Vijaya Subramaniam, Gregory N. De Brabander, David H. Naghski, 'Measurement of Mode Field Profiles and Bending and Transition Losses in Curved Optical Channel Waveguides' *J. Lightwave Technol.* vol. 15, no. 6, June 1997.