

# 반도체 광증폭기로 형성된 방향성결합기에서 파장 변환에 대한 시영역 모델링

## Time-Domain Modeling of Wavelength Conversion in Semiconductor Optical Amplifier Directional Coupler

정 호 연\*, 정 영 철  
광운대학교 전자공학부/전자통신공학과  
hyj@opto.kwangwoon.ac.kr

파장변환 소자는 최근에 급격히 발전하는 광네트웍을 구축하기 위하여 필수적인 소자로서 여러 가지 형태에 대한 연구개발이 진행되고 있다. 그중에서도, 최근에는 반도체 광증폭기로 형성된 방향성 결합기 구조(semiconductor optical amplifier directional coupler)에서의 상호 이득 포화(XPM : cross-phase modulation)에 의한 파장변환에 대한 개념이 제안되고 가능성이 실험적으로 입증된 바 있다. 이런 구조의 파장변환 소자는 입력 광신호의 파워가 작을 때는 위상 정합이 되어 반도체 광증폭기의 광모드가 완전히 결합되어 cross state로 변환된 파장의 광파워가 많이 출력되고, 신호 입력 파워가 증가함에 따라 결합이 감소하게 되어 cross state에서의 출력 파워는 감소하게 된다. 이와 같은 소자는 입력 신호광과 변환된 신호광이 역방향으로 진행되는 경우 광필터가 필요없이 파장변환이 가능하고, 변환 후의 소광비가 향상되기 때문에 향후 다양한 형태로 응용될 가능성이 있으며, 적정 설계 및 성능 예측을 위해서는 시영역에서 모델링할 수 있는 방법론을 구축하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 연산자 분리 방법<sup>(1)</sup>을 적용하여 상술한 파장변환기를 해석하기에 적합하도록 시영역 동적 모델을 구현하고, 파장변환 특성을 여러 가지 면에서 분석하여 보았다.

그림 1과 같은 광도파로를 진행하는 광파는 순방향 전파와 역방향 전파의 움직임을 나타내는 다음과 같은 시간의존 결합 파동 방정식과 캐리어의 상관관계를 나타내는 율방정식에 기초하여 구성된다.

$$\frac{1}{c_g} \frac{\partial F_1(z, t)}{\partial t} + \frac{\partial F_1(z, t)}{\partial z} = [G_1 - i\delta_1 F_1(z, t)] - ix_{21} F_2(z, t) + S_f \quad (1a)$$

$$\frac{1}{c_g} \frac{\partial F_2(z, t)}{\partial t} + \frac{\partial F_2(z, t)}{\partial z} = [G_2 - i\delta_2 F_2(z, t)] - ix_{12} F_1(z, t) + S_f \quad (1b)$$

$$\frac{1}{c_g} \frac{\partial R_1(z, t)}{\partial t} - \frac{\partial R_1(z, t)}{\partial z} = [G_1 - i\delta_1 R_1(z, t)] - ix_{21} R_2(z, t) + S_r \quad (1c)$$

$$\frac{1}{c_g} \frac{\partial R_2(z, t)}{\partial t} - \frac{\partial R_2(z, t)}{\partial z} = [G_2 - i\delta_2 R_2(z, t)] - ix_{12} R_1(z, t) + S_r \quad (1d)$$

여기서  $F_{1,2}(z,t)$ 와  $R_{1,2}(z,t)$ 는 각각 도파로 1과 2에서 종축 방향으로 진행되는 순방향 전파와 역방향 전파이다.  $c_g$ 는 군속도(group velocity)이고  $\kappa_{12}$ 와  $\kappa_{21}$ 은 방향성 결합기의 결합 계수이다.  $G_1$ 과  $G_2$ 는 도파로 물질의 순수 이득이다.  $\delta_1$ 과  $\delta_2$ 는 레이저의 중심 파장이 브래그 조건으로부터 얼마나 벗어나 있는지를 나타내는 벗어남 인자이다. 시간의존 결합 파동 방정식은 광 도파로를 일정한 길이의 섹션으로 나누어, 연산자 분리 개념을 사용하여 각 섹션의 수치해를 구할 수 있다<sup>(1)</sup>.

그림 1에서 보인 파장변환 소자로 사용한 반도체 광증폭기로 형성된 방향성 결합기 구조<sup>(2)</sup>에서 프로브광( $\lambda_{cw}=1.544 \mu m$ ), 입력광( $\lambda_{signal}=1.549 \mu m$ )의 두 빛을 SOA1의 왼쪽 단면으로부터 입사한다. 프로브광은 입사된 입력광에 의해 변조되고 파장변환된 광신호는 SOA1과 SOA2의 output port에서 얻어진다.

모델링에 사용한 파라미터는 다음과 같다. 종축길이는  $750\mu\text{m}$ , 미분이득은  $6.0 \times 10^{-16}\text{cm}^2$ , 도파로 구속 인자는 0.3, 투명 캐리어 밀도는  $1.0 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ , 선폭 증가 인자는 3.2, 활성층의 두께는  $0.012\mu\text{m}$ , 도파로 폭은  $2\mu\text{m}$ , 도파로 손실은  $30\text{cm}^{-1}$ , 캐리어 수명시간은 1ns, 균굴결율은 3.7, 방향성 결합기의 결합계수는  $21\text{cm}^{-1}$ , 비선형 미분억제 계수는  $10 \times 10^{17}\text{cm}^3$ , 주입전류는 150mA이다. 그림 2와 그림 3은 각각 신호광과 변환된 광파가 순방향으로 진행되는 경우와 역방향으로 진행되는 경우에 대한 파장변환 특성을 보이고 있다. 그림 2에서는 입력광신호의 파워가 -10dBm에서 -7dBm 정도 변화할 때, 그림 3에서는 -3dBm에서 -5dBm 정도 변화할 때 파장 변환된 신호의 소광비가 약 5dB 향상됨을 확인할 수 있었다. 그림 4와 그림 5는 신호광 변환된 광파가 역방향으로 진행되는 경우의 bar-state output과 cross-state output에서 입력 광신호에 의한 변환된 신호의 파형과 주파수 천이도를 계산한 결과이다. 그림에서 보듯이 polarity-inverted output과 polarity-noninverted output 모두가 각각 다른 출력 포트에서 얻을 수 있음을 보여주고 있고 주파수 천이도는 bar state에서는 1.5GHz 정도, cross state에서는 0.8GHz로 bar state에서 더 큰 주파수 천이도를 보이고 있다.

본 논문에서는 연산자 분리 시영역 모델을 사용하여 반도체 광증폭기로 형성된 방향성 결합기에서의 파장변환 특성 및 동적 특성 등을 해석하였다. 모델링 결과 실제 실험 결과를 잘 설명할 수 있었고 실험에서 제시되지 않은 신호광과 변환광이 역방향으로 진행되는 경우의 파장 변환 특성에 대해서도 이 파장변환기가 잘 동작함을 보였다.

[참고문헌]

1. Byoung-Sung Kim and Youngchul Chung, Electron. Lett., Vol 35, No 1, 84-85, 1999
2. Byongjin Ma, et al., IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 11, No 2, pp. 188-190, 1999

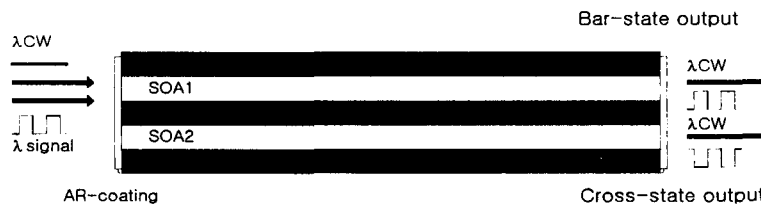


그림 1. 파장 변환기로 사용한 DC-SOA의 개략도

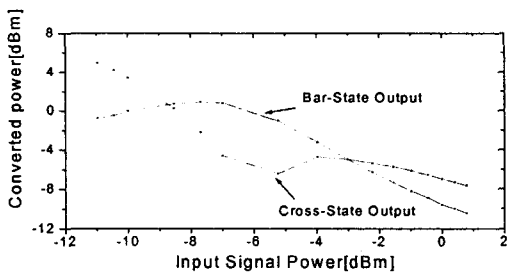


그림 2 SOA1의 왼쪽단면에서 입력 광신호가 인가되었을 때 계산된 파장변환 특성

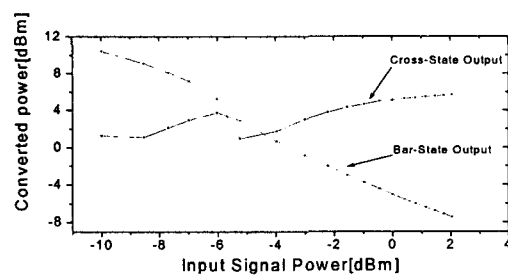


그림 3 SOA1의 오른쪽단면에서 입력 광신호가 인가되었을 때 계산된 파장변환 특성

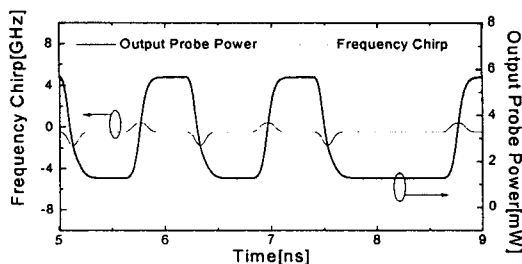


그림 4 Bar-state output에서의 파장변환된 신호의 파형과 주파수 천이

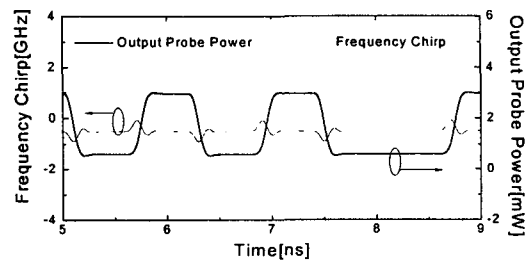


그림 5 Cross-state output에서의 파장변환된 신호의 파형과 주파수 천이