

전치증폭기가 집적된 광파장 변환기에 대한 반도체 광증폭기에서의 위상변조의 특성 분석

Analysis of Cross-Phase Modulation in Semiconductor Optical Amplifier for Wavelength Converter with a Pre-amplifier

김중희, 오광룡, 조규만*

전자통신연구원 파장다중광소자팀, *서강대학교 물리학과

jkim@physics.sogang.ac.kr

반도체 광증폭기(Semiconductor Optical Amplifier)로 입사되는 신호광 세기의 변화는 운반자 밀도의 변화를 통해 기준광 위상의 변화를 유도하므로, 이를 Mach-Zehnder 간섭계, Michelson 간섭계 등에 이용하면 세기변조된 신호광의 파장을 기준광의 파장으로 변환시킬 수 있다. 이와 같이 위상변조(Cross-Phase Modulation)를 이용한 간섭식 광파장 변환은 고속 변환이 가능하고 소광비가 개선되며 낮은 주파수 떨림과 편광 무관성 등 때문에 다중파장 분할방식을 구현할 수 있는 소자로서 많은 연구가 진행되고 있다[1]. 하지만 반도체 광증폭기에서 기준광의 π 위상변화를 유도하기 위한 신호광 세기의 변화는 약 4 dB이기 때문에 위상변조를 이용한 간섭식 광파장 변환기는 신호광 세기의 변화에 민감하다[2]. 이는 광파장이 신호광 세기에 대해 효율적으로 변환될 수 있음을 의미하지만, 신호광 입력세기의 동적 범위를 제한하는 중요한 원인이 된다. 본 연구는 다중분할 반도체 광증폭기 모델[3,4]을 이용함으로써 Mach-Zehnder 간섭계 방식의 전치증폭기가 집적된 광파장 변환기에 대하여 신호광 세기의 변화에 의해 유도되는 반도체 광증폭기에서의 위상변화를 이론적으로 조사하고, 이를 근거로 신호광 입력세기의 동적 범위가 개선될 수 있음으로 보이기 위한 것이다.

본 연구에서 고려된 광파장 변환기가 [그림 1]에 나와있다. 세기변조된 신호광은 반도체 광증폭기 SOA1의 운반자 밀도를 변화시키므로 활성층의 유효굴절률 변화를 유도한다. 이후 Mach-Zehnder 간섭계의 서로 다른 경로를 거친 기준광은 신호광 세기의 변화에 따라 보강간섭과 소멸간섭을 일으키므로 그 출력세기가 신호광의 입력세기에 따라 변한다. 여기서 모든 반도체 광증폭기의 길이는 $1000 \mu\text{m}$ 이며 이를 10개의 영역으로 분할함으로써 다중분할 반도체 광증폭기 모델을 적용하였고, 광도파로의 손실은 Y-junction에서의 3 dB만을 고려하였다.

전치증폭기 SOA3로 입사되는 신호광과 반도체 광증폭기 SOA1을 거친 기준광에 의해 운반자의 결핍이 발생한다. 이 현상은 신호광 세기의 변화에 따른 광파장 변환기으로부터 출력되는 기준광 세기의 변화를 둔화시킬 수 있으므로, 전치증폭기를 이용하면 신호광 입력세기의 동적 범위를 개선할 수 있다. 이를 조사하기 위하여 1550 nm 파장인 신호광(λ_1)으로부터 1540 nm 파장인 기준광(λ_2)으로 변환되는 광파장 변환에 대하여 신호광 세기에 따른 반도체 광증폭기 SOA1에서 기준광의 위상변화와 광파장 변환기로부터 출력되는 기준광 세기를 계산하였으며, 전치증폭기가 없는 경우와 비교하여 [그림 2]에 나타냈다. 여기서 위상변화는 Mach-Zehnder 간섭계의 두 경로를 진행하는 기준광의 위상차로서 표현되고, 전치증폭기가 있는 경우와 없는 경우에 -30 dB 신호광 세기에서 위상차가 π 와 0이 되도록 기준광 입력세기와 반도체 광증폭기의 인가전류를 최적화하였다.

전치증폭기 SOA3가 없는 경우의 위상과 출력세기의 변화는 Mach-Zehnder 간섭식 광파장 변환기의 전형적인 변환특성을 보여주고 있다. 여기서 기준광의 입력세기는 -5 dBm이고 SOA1과 SOA2에 대한 인가전류는 모두 200 mA이다. 이때 신호광 세기의 입력범위는 입력세기에 대한 출력세기의 역변환을 방지하기 위하여 -7 ~ 0 dBm 사이의 범위가 이용될 수 있다. 이때 소광비는 18 dB로서 높은 변환효율

을 갖는 반면 1 dB 출력손실에 대한 신호광 입력세기의 동적 범위는 약 3 dB로서 신호광 입력세기의 변화에 따른 광파장 변환기로부터 출력되는 기준광 세기가 매우 민감하게 변함을 알 수 있다.

전치증폭기가 집적된 광파장 변환기의 경우 기준광의 입력세기는 3 dBm, 간섭계의 두 경로에 위치한 반도체 광증폭기 SOA1과 SOA2의 인가전류는 100 mA, 전치증폭기 SOA3의 인가전류는 200 mA이다. 전치증폭기는 신호광과 기준광에 의해 운반자가 결핍되므로 비교적 낮은 신호광 입력세기에서 포화 상태에 이른다. 이는 전치증폭기로부터 출력되는 신호광 세기의 변화를 급격히 둔화시킴으로써 운반자 밀도의 변화에 의한 SOA1의 유효굴절률 변화를 감소시킨다. 이는 기준광의 작은 위상변화를 유도하여 출력세기의 변화를 감소시키는 원인이 되기 때문에 [그림 2]에서 보인 바와 같이 -7dB 이상의 신호광 입력세기에서 기준광 출력세기의 변화는 0.5 dB 이하로 조사되었다. 이로부터 얻은 1 dB 출력손실에 대한 입력 신호광세기의 동적 범위는 약 20 dB이었고, 기준광 출력세기에 대한 소광비는 신호광의 10 dB (-17 ~ -7 dB) 소광비에 대하여 약 23 dB 이었다.

결론적으로, 전치증폭기가 집적된 광파장 변환기에 기준광과 신호광을 반대 방향으로 입사시킴으로써 전치증폭기에서의 운반자 결핍을 유도하여 소광비의 감소없이 입력 신호광세기의 동적 범위를 매우 향상시킬 수 있음을 이론적인 분석을 통하여 확인하였다.

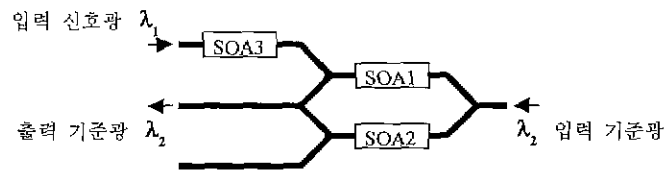


그림 1. 전치증폭기가 집적된 Mach-Zehnder 간섭계 방식의 광파장 변환기.

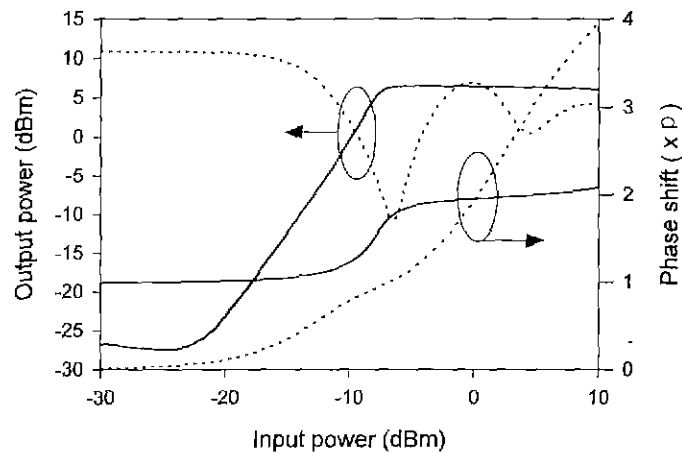


그림 2. 전치증폭기가 있는 경우(실선)와 없는 경우(점선)에 대한 반도체 광증폭기에서 기준광의 위상변화 및 광파장 변환기의 출력 광세기.

참고문헌

[1] S. J. B. Yoo, *J. Lightwave Technol.*, vol. 14, pp. 955-966, 1996.
 [2] F. Ratovelomanana et al., *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 7, pp. 992-994, 1995.
 [3] M. Asghari et al., *J. Lightwave Technol.*, vol. 15, pp. 1181-1190, 1997.
 [4] T. Durhuus, *J. Lightwave Technol.*, vol. 10, pp. 1056-1064, 1992.

