

SOA 의 상호이득변조 특성을 이용한 파장변환기에서 입력 광신호의 세기 및 변환파장 변화에 따른 성능 분석

방준학, 이성은, 이종현, 이상록

한국전자통신연구원

Tel: 042-860-5652, Fax: 042-860-6104, E-mail: jhbang@etri.re.kr

Performance Analysis for the Variations of Input Intensity and Converted Wavelength in Wavelength Converters by XGM in SOA's

Joon-Hak Bang, Sung-Un Lee, Jong-Hyun Lee, Sang-Rok Lee

Electronics and Telecommunications Research Institute

Tel: 042-860-5652, Fax: 042-860-6104, E-mail: jhbang@etri.re.kr

Abstract – We demonstrate wavelength conversion of 2.5 Gb/s optical signals by cross-gain modulation (XGM) in a semiconductor optical amplifier (SOA). We investigate the effect of input pump and probe powers on the extinction ratio and power penalty to be a measure of performance in wavelength converters. As a result, we show that the best bit error rate (BER) performance can be obtained when the probe power is kept 3 dB weaker than the pump power. And we investigate the effect of wavelength detuning on performance in wavelength converters.

본 논문에서는 이러한 여러가지 방식 중, 반도체 광 증폭기내에서의 상호이득변조 특성을 이용한 2.5 Gb/s 광신호의 파장변환 실험 결과에 관하여 기술하였다. SOA의 입력 신호인 펄프 및 프로우브광의 세기 변화에 따른 파장변환기의 성능이 되는 소광비 및 파워 페널티의 변화를 조사하여 최적의 파장변환이 일어나는 입력 조건을 도출하였다. 또한 프로우브광의 파장을 튜닝시키면서 변환되는 파장의 변화에 따른 소광비 및 파워 페널티도 측정하여 파장변환기의 성능을 분석하였다.

I. 서론

WDM 전송장치를 이용하는 통신망에서 광증폭기와 더불어 핵심요소가 되는 것이 파장변환기이다. 파장변환기는 전송속도 및 전송방식에 무관하게 전송신호의 파장을 변환하는 장치로서, WDM 통신망 내에서의 파장 충돌(contention)에 의한 블로킹을 줄일 수 있는 것과 파장을 재사용함으로써 고정된 파장들에 대한 망의 유연성(flexibility) 및 용량(capacity)을 증가시키는 역할을 수행할 수 있다[1]. 이러한 파장변환기를 구현하는 방식에는 여러 가지가 있는데, 크게 세 가지 범주로 나눌 수 있다. 첫번째는 가장 단순한 방법으로 광/전-전/광(O/E-E/O) 변환을 통하여 파장변환을 하는 Optoelectronic Wavelength Conversion[2], 두번째는 반도체 광 증폭기(Semiconductor Optical Amplifier: SOA)내에서의 상호이득변조(cross gain modulation: XGM) 및 상호 위상변조(cross phase modulation: XPM)를 이용하여 파장변환을 하는 Optical Gating Wavelength Conversion[3-4], 그리고 세번째는 광파혼합(wave-mixing)을 통하여 새로운 파장의 광신호를 생성하여 파장변환을 하는 Wave-Mixing Wavelength Conversion[5]이다.

II. 동작 원리 및 특성

상호이득변조 방식은 SOA의 이득이 포화되는 원리를 이용한 것으로 강한 펄프광으로 SOA의 이득을 변조하고 변환되고자 하는 파장의 CW 신호가 이득변조의 영향으로 펄프광에 실려있는 정보패턴과 같은 형태로 변조가 되며 이를 검출해 내는 방식이다. 동작원리를 설명하기 위한 개념도를 그림 1에 나타내었다. 강도 변조된 펄프광이 SOA로 입력되면 SOA의 이득은 입력 신호가 '1'이면 감소하고, 입력 신호가 '0'이면 원래의 이득 값으로 복구된다. 여기에 연속 신호(continuous wave: CW)인 프로우브광을 입력시키면 프로우브광은 강도 변조된 펄프광에 의해 변조된 이득의 영향을 받아 SOA의 이득이 클 때 증폭되어 나오며 이득이 작을 때는 증폭이 거의 되지 않으므로 연속적인 프로우브는 '1'과 '0'의 신호로 강도 변조되어 결과적으로 λ_{pump} 에서 λ_{probe} 로 파장이 변환하게 된다. 이때 프로우브 신호는 펄프 신호가 논리적으로 반전된 형태가 된다.

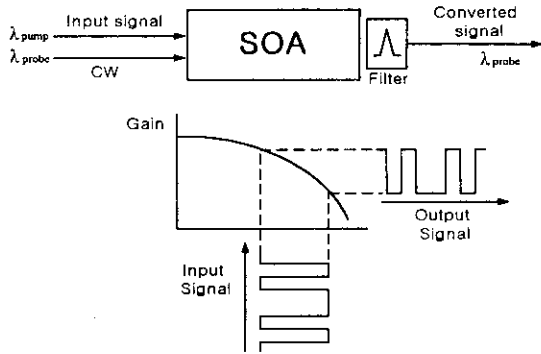


그림 1. SOA의 상호이득변조 특성을 이용한 파장변환 원리

SOA의 상호이득변조 특성을 이용한 파장변환 방식은 SOA의 이득이 포화되어 입력 광신호의 세기에 따라 이득이 변조되는 성질을 이용한 것이므로, 변환되는 신호 용량의 제한은 펄프 신호의 '0'과 '1'이 전환되고 프로우브 신호가 '0'에서 '1'로(또는 반대로) 변화될 때 증폭기의 이득 회복 시간(gain recovery time)에 의해서 결정된다. 즉, 높은 비트율에서의 파장변환을 수행하기 위해서는 프로우브 입력 신호의 세기를 크게 하여 SOA의 이득 회복 시간을 짧게 해 주어야 한다. 그러나, 프로우브 입력 신호의 세기를 크게 하면 그 자체로 증폭기의 이득을 포화시켜 펄프광에 의해 변조될 수 있는 이득 레벨이 줄어들게 되어 소광비가 낮아지게 된다. 따라서 최적의 파장변환 기능을 수행하기 위해서는 입력 펄프 신호 및 프로우브 신호의 세기를 적절히 조절해 주어야 한다.

III. 실험 구성

SOA의 상호이득변조 특성을 이용한 파장변환의 실험 구성도는 그림 2와 같다. 펄프광은 패턴 발생기에서 생성되는 2.5 Gb/s 신호로 광 송신기에서 강도 변조되었으며, 프로우브광은 파장 가변 레이저를 사용하여 튠링하면서 변환된 빛의 파장을 임의로 조정할 수 있도록 하였다. 광 송신기에서 나오는 광의 세기가 약 -1 dBm 정도여서 세기를 크게 해 주기 위해 EDFA로 증폭시킨 후 가변 광 감쇠기로 그 세기를 조정할 수 있도록 하였으며, 펄프 및 프로우브 광 각각에 대해 편광 조절기를 두어 SOA에 입력되는 편광을 이득이 최대가 되도록 조정하였다. 두 빛은 3dB 광 커플러를 통해 SOA에 동시에 입력되며, 실험에서 사용한 SOA에서 반사로 인해 발진하는 것을 막기 위해 SOA의 입력 출력단에 광 아이솔레이터를 두었다. 사용한 SOA는

입력광 세기가 -20 dBm일 때 약 22 dB의 fiber-to-fiber 이득을 가지고, 약 0.7 dB의 낮은 편광의존성을 가지며, 비교적 잡음 특성도 좋은 Alcatel사의 1901 SOA를 사용하였다. SOA에 공급되는 바이어스 전류는 사용한 SOA의 이득포화특성이 유지되는 범위내에서 최대 이득을 얻기 위한 최대 전류인 200 mA로 하였고, 동작 온도도 20°C가 유지될 수 있도록 온도제어를 해주었다. SOA 출력단에는 펄프광 및 프로우브광, 즉 파장변환된 빛이 모두 나오므로 광 스펙트럼 분석기를 보면서 필터로 파장변환된 신호만을 통과시켜 샘플링 오실로스코프로 아이 패턴(eye pattern)을 조사하고 광 수신기로 검출한 다음 에러 검출기로 에러율을 측정하였다.

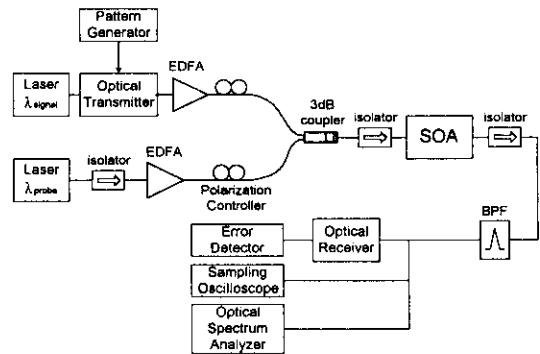


그림 2. SOA의 상호이득변조 특성을 이용한 파장변환 실험 구성도

IV. 실험 결과 및 분석

입력 신호광들의 세기 변화에 따른 파장변환 성능 실험에서 사용한 펄프 및 프로우브 광의 파장은 각각 1557.3 nm와 1555.3 nm로 2 nm의 파장변환 간격을 가지게 된다. 펄프광은 2.5 Gb/s의 2^{23} -1 PRBS로 강도 변조된 신호이며, 프로우브광은 파장 가변 레이저를 사용하였다. SOA에 입력되는 펄프 및 프로우브광의 평균 세기를 가변 감쇠기를 사용하여 변화시키면서 최종 파장변환된 신호에 대한 수신감도를 측정하였으며 이를 그림 3에 나타내었다. 이때 펄프광을 -15 dBm부터 5 dBm까지 2 dB 간격으로 변화시키면서 각각의 펄프광 세기에 대해 프로우브광의 세기를 변화시키면서 10^{-9} 에러율에 대한 수신감도를 측정하였다. 그림에서 보듯이 최적의 성능을 보이는 프로우브광의 세기는 -7 ~ 5 dBm의 펄프광의 세기에서 펄프광 세기에 비례하는 것을 알 수 있다. 즉, 프로우브광의 세기가 펄프광의 세기보다 약 3 dB 낮은 경우에 최적의 성능을 보이고 있으며, 그때의 파워 페널티는 0.9 dB이다.

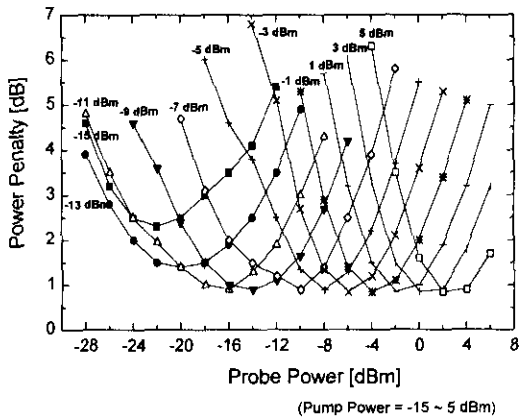


그림 3. 입력 펌프 및 프로우브광 세기 변화에 따른 수신감도의 변화

파장변환기 입력 신호의 소광비는 약 18.3 dB 이고, SOA 에 입력되는 펌프광의 세기가 1 dBm, 프로우브광의 세기가 -2 dBm 일 때 파장변환된 신호의 소광비는 약 10 dB 였으며, 이들 신호에 대한 아이 패턴은 그림 4 와 같다. 그림에서도 보듯이 파장변환된 신호의 소광비가 저하됨을 알 수 있다.

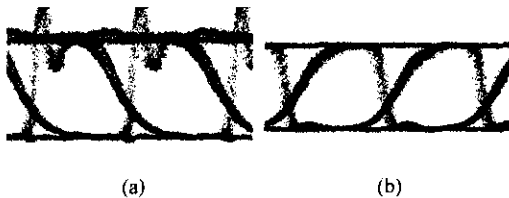


그림 4. 아이 패턴 (a) 2.5 Gb/s 입력 신호 (b) 파장변환된 신호

변환되는 파장의 변화에 따른 파장변환기의 특성을 알아 보기 위해서 프로우브광의 파장을 튜닝시키면서 변환 파장의 변화에 따른 소광비 및 파워 페널티를 측정하였다. Down-conversion 의 경우, 펌프광으로 1557.3 nm 파장의 2.5 Gb/s 신호를 사용하였으며, 프로우브광은 파장 가변 레이저로 1555.3 nm 부터 2nm 간격으로 1543.3 nm 까지 변화시키면서 측정하였다. 그리고 up-conversion 의 경우는 펌프광으로 1543.3 nm 파장의 2.5 Gb/s 신호를 사용하였으며, 프로우브광은 1545.3 nm 부터 2nm 간격으로 1557.3 nm 까지 변화시키면서 측정하였다. 이때 펌프 및 프로우브광의 세기는 위에서 구한 최적의 입력 상태인 각각 1 dBm, -2 dBm 으로 고정시켰

으며, 그 결과 측정된 파장변환된 신호의 소광비 및 파워 페널티는 그림 5,6 과 같다.

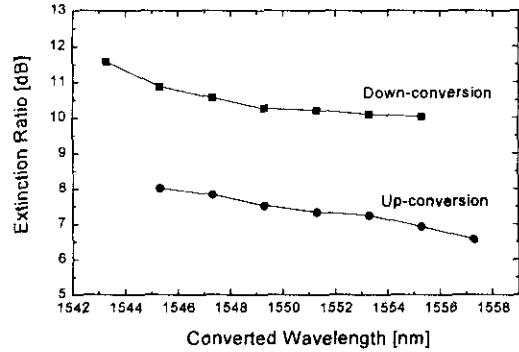


그림 5. 변환 파장의 변화에 따른 소광비의 변화

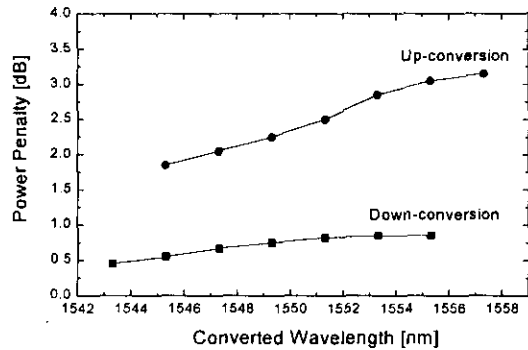


그림 6. 변환 파장의 변화에 따른 파워 페널티의 변화

그림에서처럼 변환 파장 변화에 따라 소광비 및 파워 페널티가 달라지게 되는데, 높은 파장으로의 변환일수록 성능 저하가 상대적으로 더 많이 일어남을 볼 수 있다. 또한, down-conversion 시에는 성능 저하가 비교적 적으나, up-conversion 시에는 상대적으로 크게 일어남을 알 수 있다. 이는 SOA 자체의 특성에서 비롯되는 band-filling 효과에 의한 것으로, 긴 파장으로의 파장변환시 프로우브 광신호에 대한 이득포화가 감소하여 이득변조 특성이 더욱 나빠지기 때문이다[4].

SOA 의 상호이득변조 특성을 이용한 파장변환기에서 전반적으로 파장변환 후 페널티가 다소 크게 나타나는 것은 사용한 SOA 의 이득포화 특성상 발생하는 소광비의 저하 및 이득회복시간이 충분히 적지 못해서 나타나는 패턴 효과 그리고 SOA 에서 방출되는 자연

방출광에 의한 광신호대잡음비의 감소에 의한 것으로 예측된다. 그러므로, 파장변환 후의 페널티를 줄이기 위해서는 이득포화 곡선의 기울기가 급격하고 이득회복시간이 짧으며 잡음 지수가 적은 반도체 광 증폭기를 사용하여야 한다. 또한, 이득이 입력 신호의 편광에 무관한 증폭기를 사용하는 것도 파장변환기의 안정성을 높이기 위해 필수적이다.

V. 결론

반도체 광 증폭기 내에서의 상호이득변조 특성을 이용하여 2.5 Gb/s 광신호에 대한 파장변환 실험을 수행하였다. SOA의 입력 신호인 펄스 및 프로우브광의 세기 변화에 따른 파장변환기의 성능이 되는 소광비 및 파워 페널티의 변화를 조사하여 최적의 파장변환이 일어나는 조건을 도출하였으며, 프로우브광의 파장을 튜닝시키면서 변환되는 파장의 변화에 따른 소광비 및 파워 페널티도 측정하였다. 그 결과, 프로우브광의 세기가 펄스광의 세기보다 약 3 dB 낮은 경우에 최적의 성능을 보였으며, 그러한 입력 상태에서 14 nm down-conversion 시 0.45 dB, 14 nm up-conversion 시 3.15 dB의 파워 페널티를 얻었다. Down-conversion 시에는 성능 저하가 비교적 적으나, up-conversion 시에는 상대적으로 크게 일어남을 알 수 있는데, 이는 SOA 자체의 특성에서 비롯되는 band-filling 효과에 의한 것으로, 긴 파장으로의 파장변환시 이득변조 특성이 더욱 나빠지기 때문이다. SOA의 상호이득변조 특성을 이용한 파장변환기에서는 이러한 소광비의 저하를 해결하는 것이 가장 중요한 문제가 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부 출연의 "초고속 광대역 광전달망 기술연구" 과제로 수행되었으며, 본 연구 수행에 많은 도움을 주신 김재근 박사, 한정희 박사께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Okamoto and K. Sato, "Optical Path Cross-connect Systems for Photonic Transport Networks," in *Proc. IEEE Global Telecommun. Conf.*, pp. 474-480, Nov. 1993.
- [2] M. Kovacevic and A. S. Acampora, "Electronic Wavelength Translation in Optical Networks," *J. Lightwave Technol.*, vol. 14, no. 6, pp. 1161-1169, Jun. 1996.
- [3] T. Durhuus, B. Mikkelsen, C. Joergensen, S. L. Danielsen, and K. E. Stubkjaer, "All-Optical Wavelength Conversion by Semiconductor Optical Amplifiers," *J. Lightwave Technol.*, vol. 14, no. 6, pp. 942-954, Jun. 1996.
- [4] Jay M. Wiesenfeld *et al.*, "Wavelength Conversion at 10 Gb/s using a Semiconductor Optical Amplifier," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 5, no. 11, pp. 1300-1303, Nov. 1993.
- [5] David F. Geraghty *et al.*, "Wavelength Conversion up to 18 nm at 10 Gb/s by Four-Wave Mixing in a Semiconductor Optical Amplifier," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 9, no. 4, pp. 452-454, Apr. 1997.