DBpia

논문 02-27-11B-13 한국통신학회논문지 '02-11 Vol.27 No.11B

상호이득변조 방식의 다단 파장변환기

정회원 방 준 학*, 고 제 수*

Cross-Gain Modulated Multi-Stage Wavelength Converters

Joon-hak Bang*, Je-soo Ko* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 반도체 광 증폭기내에서의 상호이득변조 특성을 이용한 파장변환 시에 가장 큰 문제가 되고 있는 소광비의 저하를 해결하기 위해 SOA 2개를 사용하여 소광비의 개선을 목적으로 설계된 다단(multi-stage) 파장변환기의 구현 및 실험 결과에 관하여 기술하였다. 변환되고자 하는 파장 변화 시의 특성을 조사하기 위해 프로우브광의 파장을 튜닝시키면서 down-conversion 및 up-conversion 모두에 대해 파장변환 후의 소광비 및 파워 패널티를 측정하였다. 또한 다단 파장변환기의 성능을 SOA 1개를 사용한 일반적인 상호이득변조 방식의 파장변환기의 성능과 비교 분석하였다. 그 결과 10 nm down-conversion 시 소광비는 3.65 dB, 패널티는 0.65 dB 향상되었으며, 2 nm up-conversion 시 소광비는 2.94 dB, 패널티는 0.9 dB 향상되었다.

Ⅰ. 서 론

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 재 사용함으로써 고정된 파장들에 대한 망의 유연성(flexibility) 및 용량(capacity)을 증가시키는 역할을 수행할 수 있다[1-2]. 본 논문에서는 여러 파장변환 방식 중, 반도체 광증폭기(semiconductor optical amplifier, SOA) 내에서의 상호이득변조(cross-gain modulation, XGM) 특성을 이용한 파장변환[3-5] 시에 가장 큰 문제가 되고 있는 소광비의 저하를 해결하기 위해 SOA 2개를 사용하여 소광비의 개선을 목적으로 설계된 다단(multi-stage) 파장변환기의 구현 및 실험 결과에 관하여 기술하였다. 변환되고자 하는 파장의 변화 시의 특성을 조사하기 위해 프로우브광의 파장을 튜닝시키면서 down-conversion 및 up-conversion 모두에 대해 파장변환 후의 소광비 및 파워 패널티를 측정하였다. 또한 다단 파장변환기의 성능을 SOA 1개를 사용한 일반적인 XGM 방식의 파장변환기의 성능과 비교 분석하였다.

Ⅱ. 동작 원리 및 특성

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

* 한국전자통신연구원 광통신연구부 광송수신기술팀(jhbang@etri.re.kr)
논문번호 : 020262-0604, 접수일자 : 2002년 6월 4일
※ 본 연구는 정보통신부 지원 및 한국전자통신연구원 관리로 수행되었습니다.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

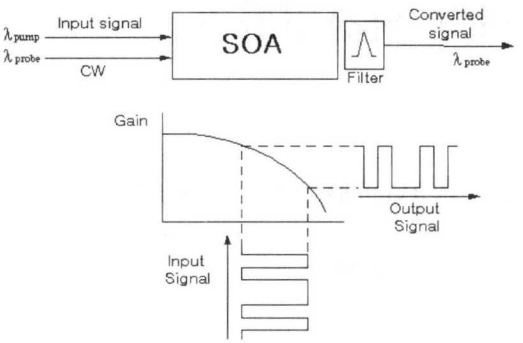


그림 1. SOA의 상호이득변조 특성을 이용한 파장변환 원리

이와 같은 파장변환 방식은 SOA의 이득이 포화되어 입력 광신호의 세기에 따라 이득이 변조되는 성질을 이용한 것이므로, 파장변환 특성은 사용되는 SOA의 이득특성에 의해 결정된다. 일반적으로 SOA의 상호이득변조 특성을 이용한 파장변환의 경우, 변환된 광신호의 소광비는 저하되기 마련인데 이로 인한 파워 패널티는 이러한 방식의 파장변환에 있어서 가장 큰 단점이 되고 있다.

본 논문에서는 이와 같은 파장변환 후에 소광비가 저하되는 문제점을 개선하기 위한 방법으로 2개의 SOA를 이용한 다단 파장변환기를 구성하고 실험을 통해 그 특성을 조사하였다. 다단 파장변환기의 동작원리는 다음과 같다. 위에서 언급한 상호이득변조 방식의 파장변환에서처럼 SOA의 이득변조에 의해 CW 광인 프로우브 신호가 변조되어 파장변환이 된 신호를 다음 단의 SOA에서 한번 더 같은 방식으로 이득변조의 영향을 받도록 한다. 이와 같이 하면 CW 광의 변조되는 정도는 두배가 되고, 결과적으로 파장변환된 신호의 진폭이 크게 되어 소광비가 향상된다. 이 때 주의해야 할 점은 후단 SOA에 입력되는 펌프광(입력신호)과 프로우브광(전단 SOA 출력, 즉 1차 파장변환된 신호)에 실려있는 데이터 패턴 상의 위상을 일치시켜 줘야 한다는 것이다. 만약 그렇지 못할 경우, 최종 출력되는 파장변환된 신호의 패턴이 왜곡된다.

Ⅲ. 실험 구성

SOA의 상호이득변조 특성을 이용한 다단 파장변환기의 실험 구성도는 그림 2와 같다. 입력신호인 펌프광은 패턴 발생기에서 생성되는 2.5 Gb/s 신호로 광 송신기에서 강도 변조되었으며, 프로우브광은 파장 가변 레이저를 사용하여 튜닝하면서 변환될 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 감쇄기로 그 세기를 조정할 수 있도록 하였으며, 동일한 펌프광을 전단 및 후단 SOA에 공급하기 위해 3-dB 광 커플러를 이용하여 50:50의 광세기 비율로 분배를 시켜서 SOA로 입력한다. 또한, 펌프 및 프로우브광 각각에 대해 편광 조절기(polarization controller)를 두어 SOA에 입력되는 편광을 이득이 최대가 되도록 조정하였다. 먼저 전단 SOA(SOA1)의 경우, 펌프 및 프로우브광은 3-dB 광 커플러를 통해 SOA에 동시에 입력되며, 실험에서 사용한 SOA에서 반사로 인해 발진하는 것을 막기 위해 SOA의 입출력단에 광 아이솔레이터(isolator)를 두었다. 사용한 SOA는 입력광 세기가 -20 dBm 일 때 약 22 dB의 fiber-to-fiber 이득을 가지고, 약 0.7 dB의 낮은 편광의존성을 가지며, 비교적 잡음 특성이 좋은 Alcatel 사의 1901 SOA를 사용하였다. SOA1에 공급되는 바이어스 전류는 사용한 SOA의 이득포화 특성이 유지되는 범위 내에서 최대 이득을 얻기 위한 최대 전류인 200 mA로 하였고, 동작 온도는 20°C가 유지될 수 있도록 온도 제어를 해 주었다. SOA1 출력단에는 펌프광 및 프로우브광, 즉 파장변환된 광이 모두 나오므로 광 스펙트럼 분석기를 보면서 대역 통과 필터(band pass filter, BPF)로 파장변환된 신호만을 통과시킨 후, 이를 다시 후단 SOA(SOA2)의 프로우브광으로 사용하기 위해 광 감쇄기로 세기를 조정하고 편광 조절기로 SOA에 입력되는 편광을 조정한다. SOA2에 대한 펌프광은 SOA1에서의 경우와 마찬가지이며, 다만 중간에 optical delay line을 사용하는데, 이는 SOA2에 입력되는 펌프광과 프로우브광(SOA1의 출력)에 실려있는 데이터 패턴 상의 위상을 일치시켜 주기 위한 것이다. 또한 위상을 일치시켜 주는데 있어서 중요한 사항은 SOA1을 경유하여 SOA2로 입력되는 펌프광의 광경로와 SOA2로 바로 입력되는 펌프광의 광경로의 길이를 2~3 cm 차 이내로 일치시켜야 한다는 것이다. 이는 optical delay line으로 조절할 수 있는 범위의 한계가 그 정도이기 때문이다.

SOA1에서 펌프광에 의해 한번 변조된 신호는 데이터 패턴의 위상이 일치된 펌프광과 함께 SOA2로 입력되며, SOA2 내에서 같은 패턴으로 한번 변조되어 출력이 되므로, 결과적으로 파장변환된 신호의 소광비가 향상된다. SOA2의 출력단에는 SOA1에서

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

와 같이 펌프광 및 프로우브광, 즉 파장변환된 광이 모두 나오므로 광 스펙트럼 분석기를 보면서 대역통과 필터로 파장변환된 신호만을 통과시킨 후, 샘플링 오실로스코프로 아이 패턴(eye pattern)을 조사하고 광 수신기로 검출한 다음 에러 검출기로 에러율을 측정하였다.

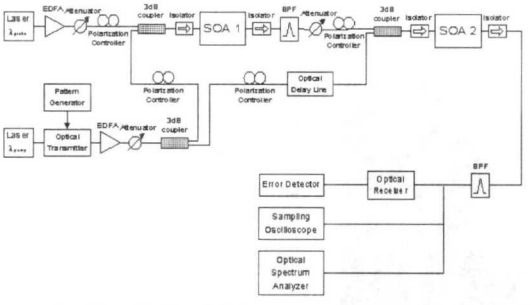
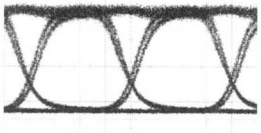


그림 2. SOA의 상호이득변조 특성을 이용한 다단 파장변환기 실험 구성도

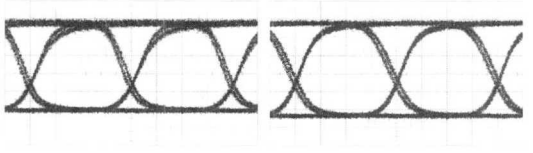
Ⅳ. 실험 결과 및 분석

상호이득변조 특성을 이용한 다단 파장변환기의 성능 실험에서 사용된 펌프광의 파장은 1555.7 nm 이고, 프로우브광의 파장은 1545.7 nm 및 1557.7 nm 이며, 따라서 10 nm down-conversion 및 2 nm up-conversion 에 대해 성능을 측정하였다. 펌프광은 2.5Gb/s의 2^{23}-1 PRBS(pseudo random binary sequence)로 강도 변조된 신호이며, 프로우브광은 파장 가변 레이저를 사용하였다. 두 SOA에 입력되는 펌프 및 프로우브광의 평균 세기는 가변 광 감쇄기를 사용하여 각각 0 dBm 및 -3 dBm 이 되도록 하였고, 프로우브광의 파장을 변화시켜 10 nm down-conversion 및 2nm up-conversion 시의 아이 패턴을 조사하였다. 이 때 SOA 하나를 사용한 기존의 일반적인 파장변환기와의 성능 비교를 위해 1단의 경우에 대해서도 같은 입력 조건으로 아이 패턴을 조사하였으며, 이들 신호에 대한 아이 패턴은 그림 3과 같다.

그림에서 보듯이 1단에 비해 다단의 경우 파장변환된 신호의 소광비가 향상되며, 이는 파장변환기의

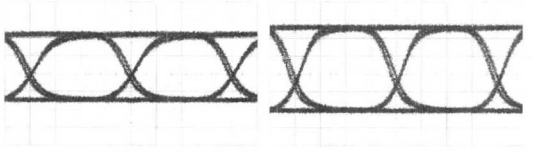


(a) 2.5Gb/s로 변조된 입력신호 (소광비:15.52dB)



(b) 10nm down-conversion (1단) (소광비: 9.26dB)

(c) 10nm down-conversion (다단) (소광비: 12.91dB)



(d) 2nm up-conversion (1단) (소광비: 5.92dB)

(e) 2nm up-conversion (다단) (소광비: 8.86dB)

그림 3. 입출력 신호에 대한 아이 패턴

성능 척도가 되는 변환 후의 파워 패널티가 줄어들게 됨을 의미한다. 위의 입력조건에서 파장변환 후의 파워 패널티를 조사하기 위해 입력 신호 및 파장변환된 출력신호에 대한 비트에러율(bit error rate, BER)을 측정하였으며, 그림 4에 나타내었다.

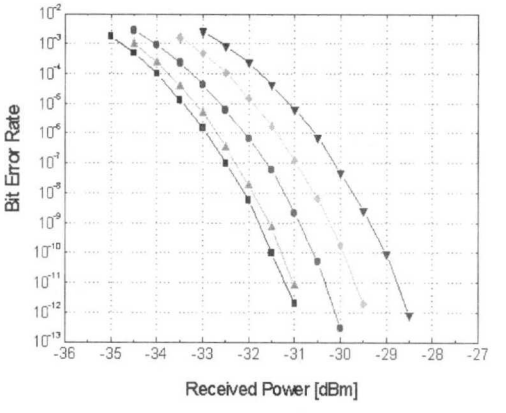


그림 4. 입출력 신호에 대한 비트에러율 곡선

그림 4에서 왼쪽부터 각각 back-to-back, 10 nm down-conversion (다단), 10 nm down-conversion (1단), 2 nm up-conversion (다단), 2 nm up-conversion (1단)에 대한 비트에러율 곡선을 나타내고 있다. 파장변환된 신호의 아이 패턴으로부터 예상했듯이 1단보다 다단의 경우의 파워 패널티가 적게 됨을 알 수 있다. 10^{-9} 에러율에서의 패널티는 10 nm down-conversion 시 1단의 경우 약 0.85 dB, 다단의 경우 약 0.2 dB 이며, 2 nm up-conversion 시 1단의 경우 약 2.4 dB, 다단의

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

경우 약 1.5 dB 이다. 이와 같이 두 개의 SOA를 사용하여 파장변환을 할 경우, 변환된 신호의 소광비가 향상되고 파워 패널티가 줄어 들게 되어, 결과적으로 파장변환기의 성능이 개선된다.

V. 결 론

반도체 광 증폭기 내에서의 상호이득변조 특성을 이용한 파장변환 시에 가장 큰 문제가 되고 있는 소광비의 저하를 해결하기 위해 SOA 2개를 사용하여 소광비의 개선을 목적으로 다단 파장변환기를 구현하고 그 특성을 조사하였다. 변환되고자 하는 파장의 변화 시의 특성을 조사하기 위해 프로우브 광의 파장을 튜닝시키면서 down-conversion 및 up-conversion 모두에 대해 파장변환 후의 소광비 및 파워 패널티를 측정하였다. 또한 다단 파장변환기의 성능을 SOA 1개를 사용한 일반적인 XGM 방식의 파장변환기의 성능과 비교 분석하였다. 그 결과 10 nm down-conversion 시에는 소광비는 3.65 dB, 패널티는 0.65 dB 향상되었으며, 2 nm up-conversion 시에는 소광비는 2.94 dB, 패널티는 0.9 dB 향상되었다. 따라서, 상호이득변조 특성을 이용한 파장변환기에서 2개의 SOA를 사용하여 다단으로 파장변환기를 구현하면 소광비가 향상되고 그 결과 파워 패널티가 줄어 들게 되어 성능이 향상됨을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] Okamoto and Sato, "Optical Path Cross-connect Systems for Photonic Transport Networks", *in Proc. IEEE Global Telecommun. Conf.*, pp. 474-480, Nov. 1993.

[2] C. A. Brackett *et al.*, "A Scalable Multiwavelength Multihop Optical Network: A Proposal for Research on All-optical Networks", *J. Lightwave Technol.*, vol. 11, pp. 736-752, May/Jun. 1993.

[3] C. Joergensen *et al.*, "4 Gb/s Optical Wavelength Conversion Using Semiconductor Optical Amplifiers," *IEEE Photo. Technol. Lett.*, vol. 5, pp. 657-660, Jun. 1993.

[4] J. M. Wiesenfeld, B. Glance, J. S. Perino, and A. H. Gnauck, "Wavelength Conversion at 10 Gb/s using a Semiconductor Optical Amplifiers," *IEEE Photo. Technol. Lett.*, vol. 5, pp. 1300-1303, Nov. 1993.

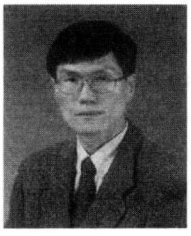
[5] T. Durhuus, B. Mikkelsen, C. Joergensen, S. L. Danielsen, and K. E. Stubkjaer, "All-Optical Wavelength Conversion by Semiconductor Optical Amplifiers," *J. Lightwave Technol.*, vol. 4, pp. 942-954, Jun. 1996.

방 준 학(Joon-hak Bang) 정회원

1994년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업
1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
1996년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 광송수신기술팀

<주관심 분야> 광통신 공학, 광전송, 광송수신기술

고 제 수(Je-soo Ko) 정회원



1981년 2월 : 울산대학교 전기공학과 졸업
1983년 2월 : 고려대학교 전자공학과 석사
1983년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 광송수신기술팀장

<주관심 분야> 광인터넷, 광전송, 광송수신기술, 초고속신호처리 기술

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr