

반도체 광증폭기(SOA)를 이용한 2.5 Gbit/s 전광 OR 논리 게이트

변영태[†] · 김재현 · 전영민 · 이 석 · 무덕하 · 김선호

한국과학기술연구원 광기술연구센터

⑧ 136-791 서울 성북구 하월곡동 39-1번지

(2001년 10월 22일 받음, 2002년 2월 16일 수정본 받음)

전광(all-optical) OR 논리소자가 반도체 광증폭기(SOA)의 이득포화와 파장변환 특성을 이용하여 구현되었다. 전광(all-optical) OR 논리소자는 이득의 비선형성에 의해 동작되므로 SOA의 이득포화를 충분히 얻기 위해 펌프신호는 SOA의 입력단에서 어름 첨가 광섬유 증폭기(EDFA)에 의해 증폭되었다. 전광 OR 논리소자의 동작특성은 2.5 Gbit/s에서 성공적으로 측정되었다.

주제어 : All-optical OR logic gate, Semiconductor optical amplifier, Gain saturation, Wavelength conversion.

I. 서 론

미래 정보 통신망의 목적은 음성신호, 정지영상, 동영상 등의 멀티미디어 서비스를 제공하는 것이므로 기간당의 정보처리 용량이 수백 Gbit/s로부터 수 Tbit/s로 증가될 것이다. 그러므로 대용량의 데이터를 고속으로 전송, 처리, 교환할 수 있는 전광 신호처리 기술이 핵심기술로 대두되고 있다. 특히 복잡한 전기-광학 변환을 피할 수 있는 전광 논리 동작은 전광신호 처리 시스템의 핵심기술이다. 따라서 차세대 광컴퓨팅 및 전광 신호처리 분야에서 중요한 전광 논리소자의 기술 개발이 현재 활발히 이루어지고 있다.

지금까지 초고속 광정보처리를 위한 전광 논리소자는 주로 반도체 광증폭기(Semiconductor Optical Amplifier; SOA)의 비선형 특성을 이용하고 있다. 전광 논리소자는 four-wave mixing(FWM),^[1] cross gain modulation(XGM),^[2] cross phase modulation(XPM),^[3] cross-absorption modulation(XAM)^[4]이나, 이들을 혼합한 메카니즘에 따라 구현할 수 있는 종류가 제한된다.

지금까지 전광 OR 논리소자는 SOA의 비선형 이득과 굴절률 변화를 이용하는 초고속 비선형 간섭계(ultrafast nonlinear interferometer: UNI)를 이용하는 방법^[5]과 SOA가 접적된 마이켈슨 간섭계(Michelson interferometer)를 이용하는 방법^[6]으로 구현되었다. 그러나 여러 개의 전광 논리 소자들(AND, NAND, OR, NOR, XOR)이 광컴퓨팅이나 전광 신호처리 시스템의 복잡한 광회로에 이용되기 위해서는 각각의 논리소자들이 같은 동작원리로 구현되어야 시스템 구성이 유리하다. SOA의 이득포화(gain saturation)와 파장변환(wavelength conversion) 특성을 이용하면 본 논문의 전광 OR 논리소자뿐만 아니라 전광 NOR,^[7] XOR,^[8] NAND^[9] 등이 구현될 수 있다.

본 논문은 SOA의 이득포화와 파장변환 특성을 이용하여

2.5 Gbit/s로 동작하는 새로운 전광 OR 논리소자를 구현할 수 있는 방법을 제안하고 실험으로 입증하였다. 즉 2.5 Gbit/s로 동작하는 전광 OR 논리소자를 구현하기 위해 첫 번째 SOA에서 파장변환된 광신호가 두 번째 SOA에서 펌프신호로 이용됨으로서 기존의 방법과 전혀 다른 새로운 전광 OR 논리소자가 구현되었다.

II. 전광 OR 논리소자의 동작원리

반도체 광증폭기(SOA)의 이득포화와 파장변환 특성을 이용하면 전광 OR 논리소자의 동작특성이 얻어질 수 있다. SOA의 이득이 운반자 밀도에 따라 변하는데 특히 광증폭이 일어날 때 운반자 밀도가 줄어든다는 사실로부터 이득포화가 생긴다. SOA에 입사되는 펌프신호와 조사신호의 총 광세기가 SOA의 이득을 포화시킬 수 있는 광세기보다 더 클 때 이득포화는 SOA에서 펌프와 조사 채널 사이에 crosstalk를 일으킨다. 이 경우 한 채널의 광증폭은 다른 채널에 광파위가 있거나 없는 것에 의존하기 때문에 파장변환이 얻어질 수 있다. 적당한 SOA bias 전류와 입력 광파위가 선택될 때 펌프신호로서 SOA에 주입된 입력 데이터를 사용하면 SOA 출력에서 조사신호의 파장에 의한 전광 OR 논리 소자의 특성이 얻어진다.

그림 1은 전광 OR 소자의 구조와 동작원리를 진리표(truth table)와 함께 상세하게 도식적으로 보여준다. 두 입력신호 패턴은 A가 1100이고 B가 0110이다. 신호의 크기에 관계없이 신호가 있으면 1이고 신호가 없으면 0으로 신호를 구분할 때 입력신호 A와 B가 광섬유 결합기에서 합쳐지면(A+B) 1110의 패턴을 갖는다. A+B 신호와 다른 파장의 CW 입력신호를 각각 펌프신호와 조사신호로 이용하여 두 신호가 반도체 광증폭기(SOA-1)에 반대방향으로 입사될 때 펌프신호에서 낮은 광세기를 갖는 펄스신호에 의해 SOA-1의 이득포화가 생기도록 펌프신호의 세기를 조절하면 조사신호는 펌프신호가 0일 때만 출력되므로 그림에서 A+B의 패턴이 얻어진다. 이제 A+B와 또 다른 파장의 CW 입력신호를 각각 펌프신호와 조사신호로

[†]E-mail: byt427@kist.re.kr

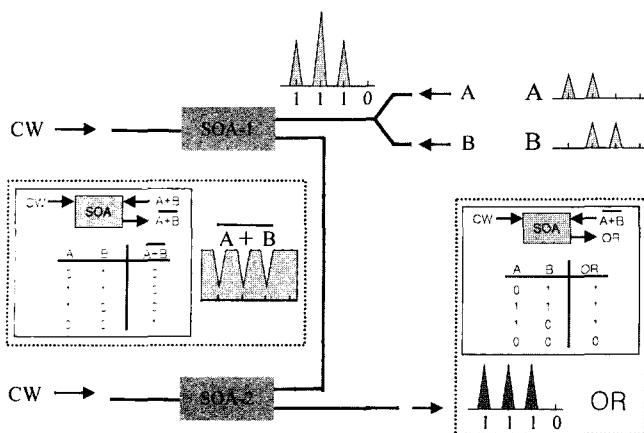


그림 1. 전광 OR 논리소자의 동작원리.

이용하면 SOA-2를 통과한 조사신호는 1110의 신호 패턴을 갖는다. 그림 1의 우측에 있는 진리표에 의하면 1110의 출력신호 패턴은 OR의 진리표이므로 펄스로 구성된 두 개의 입력신호 패턴과 SOA의 이득포화와 파장변환 특성을 이용하여 전광 OR 논리소자를 구현할 수 있다.

III. 실험

전광 OR 논리소자의 동작은 그림 2에서 보여주는 실험장치를 이용하여 2.5 Gbit/s에서 측정되었다. 전광 OR 논리동작을 입증하기 위한 입력신호 패턴 A와 B는 파장이 1550 nm인 모드잡김 광섬유 레이저(mode-locked fiber laser; MLFL)로 만들어진다. 즉 펄스 발생기(pulse generator)에 의해 625 MHz로 구동되는 MLFL의 출력광은 50:50 광섬유 결합기(FC1)에서 분리된 후 400 ps의 시간지연을 얻기 위해 각각 지연수단인 variable delay와 4 m 길이의 단일모드 광섬유(SMF)와, 조절수단인 광감쇄기(ATTN; Attenuator)와 편광 조절기(PC; Polarization Controller)를 통과한 다음 50:50 광섬유 결합기(FC2)에서 합쳐짐으로서 2.5 Gbit/s로 동작되는 입력신호 패턴 A, 즉 1100이 만들어진다. 그리고 FC2 출력단의 위쪽 광섬유는 10:90 광섬유 결합기(FC3)에서 분리된 후 위쪽 광섬유의 신호패턴 A(1100)가 20 GHz의 광검출기와 오실로스코프로 측정된다. 반면에 아래쪽 광섬유를 따라 진행하는 신호패턴 A(1100)는 광감쇄기(ATTN)와 편광조절기(PC)를 통과한 후 50:50 광섬유 결합기(FC5)에서 입력신호 패턴 B(0110)와 합쳐진다.

한편 FC2 출력단의 아래쪽 광섬유에서 입력신호 패턴 A(1100)는 variable delay와 4 m 길이의 단일모드 광섬유(SMF)를 통과함으로서 400 ps 만큼 시간이 지연되기 때문에 입력신호 패턴 B(0110)가 만들어진다. 신호패턴 B(0110)는 10:90 광섬유 결합기(FC4)에서 분리된 후 위쪽 광섬유의 신호패턴 B(0110)는 45 GHz의 광검출기와 오실로스코프로 측정된다. 그리고 아래쪽 광섬유의 출력광은 FC5에서 입력신호 패턴 A(1100)와 합쳐진다. FC5 출력단에서 위쪽 광섬유의 출력광은, 즉 입력신호 패턴 A와 B의 합(A+B), 45 GHz의 광검

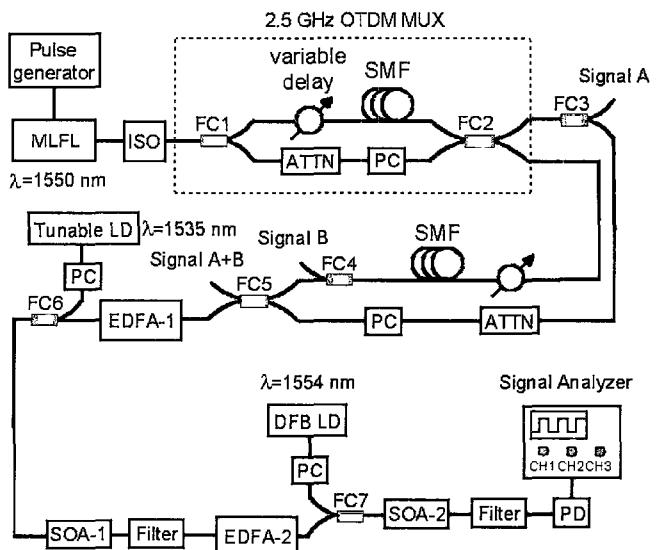


그림 2. 전광 OR 논리소자의 실험장치 구성도.

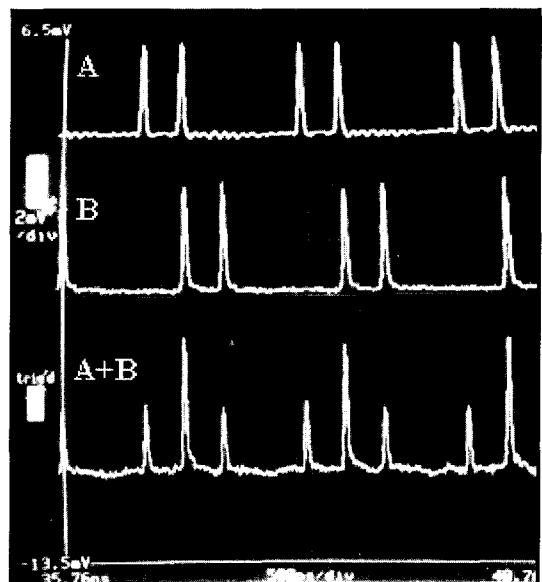


그림 3. 입력신호 패턴 A(1100)와 B(0110), 그리고 A+B의 파형.

출기와 오실로스코프로 측정된다.

그림 3은 FC3 출력단의 위쪽 광섬유에서 측정된 2.5 Gbit/s 입력신호 패턴 A(1100)와 FC4 출력단의 위쪽 광섬유에서 측정된 2.5 Gbit/s 입력신호 패턴 B(0110)뿐만 아니라 FC5 출력단의 위쪽 광섬유에서 측정된 2.5 Gbit/s 입력신호 패턴 A+B를 보여준다. 신호패턴 A+B는 A(1100)와 B(0110)가 합쳐짐으로서 논리 (1,1)일 때의 광세기는 논리 (1,0)이나 논리 (0,1)의 광세기의 두 배가됨을 그림 3에서 확인할 수 있다.

FC5 출력단의 아래쪽 광섬유를 따라 진행하는 신호패턴 A+B는 어븀 첨가 광섬유 증폭기(EDFA-1)에서 증폭된 다음, 파장이 1535 nm인 파장 가변 레이저 다이오드(Tunable LD)의 연속파(CW) 광신호와 함께 50:50 광섬유 결합기(FC6)에서 합해진 후 반도체 광증폭기(SOA-1)에 입사된다. 여기서 신호

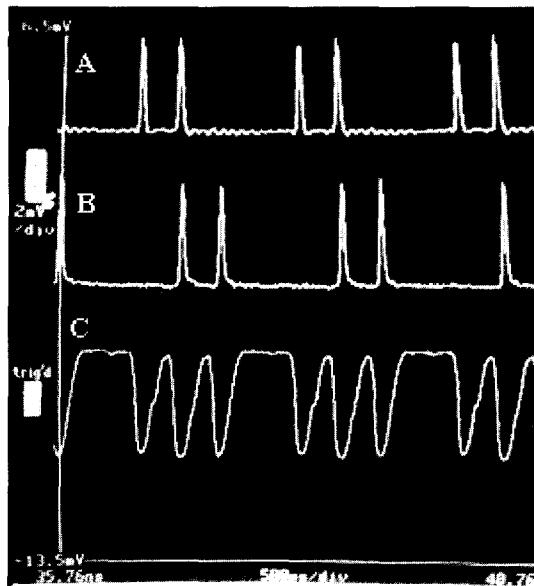


그림 4. 입력신호 A(1100)와 B(0110) 및 파장변환된 패턴(C).

패턴 A+B와 Tunable LD의 CW 광신호는 각각 펌프신호와 조사신호로 이용되었다. 그리고 펌프신호(A+B)의 논리 (1,0)과 논리 (0,1)^[6] SOA-1의 이득포화를 충분히 시킬 수 있는 광세기를 얻을 수 있도록 EDFA-1이 이용되었다. 이 때 SOA-1의 이득포화와 파장변환 특성에 의해 파장변환된 신호 패턴 C(A+B)가 발생된다. 즉 SOA-1의 출력신호 중 조사신호는 광필터(1535 nm)를 통과하고 펌프신호(A+B)는 광필터를 통과하지 못하기 때문에 파장변환된 신호패턴의 파장은 1535 nm이다.

그림 4는 2.5 Gbit/s 입력신호 패턴 A와 B뿐만 아니라 EDFA-1과 SOA-1의 구동전류가 각각 80 mA와 150 mA일 때 광필터 뒤에서 측정된 2.5 Gbit/s 파장변환된 신호패턴을 보여준다. 파장변환된 신호패턴은 입력신호 패턴 A와 B로부터 두 신호가 논리 (1,0), (1,1), (0,1)일 때 출력되지 않고 논리 (0,0)일 때만 출력된다. 그러나 입력신호가 펄스형태이므로 펄스사이에서도 파장변환된 신호가 출력되는 것을 볼 수 있다.

이제 파장변환된 신호패턴은 EDFA-2에서 증폭된 후 SOA-2에서 펌프신호로 이용되기 위해 분포 케이블 형 레이저 다이오드(DFB-LD)에서 출력된 1554 nm 파장의 조사신호와 함께 50:50 광섬유 결합기(FC7)에서 합해진 후 SOA-2에 입사된다. 이 때 높은 광세기를 갖는 펌프신호는 SOA-2에서 운반자 농도를 고갈시킴으로서 이득을 포화시킨다. 그 결과 조사신호는 펌프신호가 없을 때만 SOA-2에서 출력된다. 따라서 SOA-2의 출력광이 광필터를 통과할 때 조사신호의 파장(1554 nm)만이 통과되고 이 신호는 45 GHz의 광검출기와 오실로스코프로 측정된다.

그림 5는 2.5 Gbit/s로 동작되는 전광 OR 논리소자의 동작 특성을 보여준다. 상부의 파장변환된 신호패턴(C)은 두 입력 신호 패턴 A(1100)와 B(0110)가 SOA-1을 통과할 때 만들어진 패턴으로 논리신호가 (1,0), (1,1), (0,1) 일 때는 출력광이 없고 (0,0)일 때만 출력광이 존재한다. 그리고 하부의 조사신

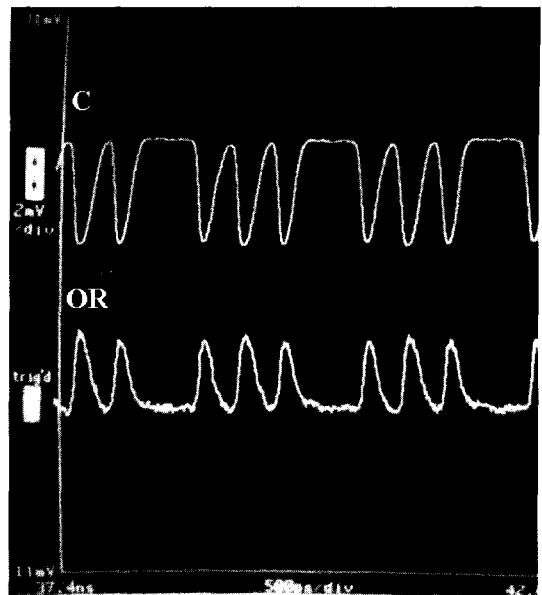


그림 5. 2.5 Gbit/s 전광 OR 논리소자.

호는 EDFA-2와 SOA-2의 구동전류가 각각 170 mA와 150 mA일 때, 전광 OR 논리소자의 동작특성을 보여준다. 즉 논리신호가 (1,0), (1,1), (0,1)일 때는 논리 1이고 논리신호가 (0,0)일 때는 논리 0이므로 그림 1의 OR 진리표와 비교함으로 전광 OR 논리동작이 얻어졌음을 알 수 있다.

이상에서와 같이 동일파장의 두 입력신호 패턴 A(1100)와 B(0110)가 SOA-1에 의해 네 개의 논리신호((1,0), (1,1), (0,1), (0,0))를 갖는 파장변환된 신호패턴 C가 얻어지고, 이 신호와 조사신호(DBF-LD)가 SOA-2를 지나갈 때 SOA-2의 이득포화와 파장변환 특성에 의해 2.5 Gbit/s 전광 OR 논리동작이 성공적으로 측정되기 때문에 광컴퓨팅과 전광신호처리 시스템의 복잡한 광회로상에서 전광 OR 논리동작을 쉽게 구현할 수 있을 것이다.

참고문헌 6은 10 Gbit/s에서 전광 OR 논리소자를 구현하였으나 본 논문은 새로운 방법으로 2.5 Gbit/s에서 전광 OR 논리소자의 아이디어를 실험적으로 입증하였다. 그러나 2.5 Gbit/s는 아직 세계적 수준인 10 Gbit/s^[6]에 미치지 못하므로 Bit Rate를 높이는 연구가 계속 진행되어 왔다. 그 결과 5 Gbit/s 전광 XOR 논리소자가 구현되었으며, 또 10 Gbit/s half adder 가 전광 OR 논리소자와 동일한 동작원리로 구현되었다. 위에서 언급된 연구결과들은 각각 CPT'2002와 OFC'2002에서 발표될 예정이다. 그러므로 본 논문의 전광 OR 논리소자는 쉽게 10 Gbit/s로 동작특성이 향상될 수 있을 것으로 예상된다.

IV. 결 론

전광 OR 논리소자가 반도체 광증폭기(SOA)의 이득포화와 파장변환 특성을 이용하여 구현되었다. 전광(all-optical) OR 논리소자는 이득의 비선형성에 의해 동작되므로 SOA의 이득포화를 충분히 얻기 위해 펌프신호는 SOA의 입력단에서 어

름 첨가 광섬유 증폭기(EDFA)에 의해 증폭되었다. 전광 OR 논리소자의 동작특성은 2.5 Gbit/s에서 성공적으로 측정되었다. 전광 OR 논리소자는 다른 단일 광 논리소자들(AND, OR, XOR, NOR, NAND)과 함께 광컴퓨팅이나 전광 신호처리 시스템을 구성할 때 빼놓을 수 없는 핵심소자이다. 특히 전광 OR 논리소자를 구현하기 위해 SOA의 이득포화와 파장변환 특성을 이용하는 XGM 방법은 간단하며, 다른 기능의 전광 논리소자를 동일한 방법으로 구성할 수 있으므로 전광회로 및 전광 시스템 구현에 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] J. Zhou, N. Park, J. W. Dawson, K. J. Vahala, M. A. Newkirk, and B. I. Millerl, "Efficiency of broadband four-wave mixing wavelength conversion using semiconductor traveling-wave amplifiers," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 6, no. 1, pp. 50-52, 1994.
- [2] R. Schnabel, W. Pieper, M. Ehrhardt, M. Eiselt, and H. G. Weber, "Wavelength conversion and switching of high speed data signals using semiconductor laser amplifiers," *Electron. Lett.*, vol. 29, no. 23, pp. 2047-2048, 1993.
- [3] T. Durhuus, C. Joergensen, B. Mikkelsen, R. J. S. Pedersen, and K. E. Stubkjaer, "All optical wavelength conver-
- sion by SOA's in a Mach-Zehnder configuration," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 6, no. 1, pp. 53-55, 1994.
- [4] N. Edagawa, M. Suzuki, and S. Yamamoto, "Novel wavelength converter using an electroabsorption modulator: Conversion experiments at up to 40 Gbit/s," in *Optical Fiber Communication Conference '97*, Optical Society of America, Dallas, USA, 1997, pp. 77-78.
- [5] N. S. Patel, K. L. Hall, and K. A. Rauschenbach, "40-Gbit/s cascadable all-optical logic with an ultrafast nonlinear interferometer," *Opt. Lett.*, vol. 21, no. 18, pp. 1466-1468, 1996.
- [6] T. Fjelde, D. Wolfson, A. Kloch, C. Janz, A. Coquelin, I. Guillemot, F. Gaborit, F. Poingt, B. Dagens, and M. Renaud, "10 Gbit/s all-optical logic OR in monolithically integrated interferometric wavelength converter," *Electron. Lett.*, vol. 36, no. 9, pp. 813-815, 2000.
- [7] 변영태, 김상혁, 우덕하, 김동환, 김선호, "서로 다른 두 파장의 펌프신호를 이용한 전광 NOR 논리소자의 동작특성," *새물리*, vol. 40, no. 6, pp. 560-565, 2000.
- [8] 김재현, 변영태, 전영민, 이석, 우덕하, 김선호, 강광남, "반도체 광증폭기를 이용한 전광 XOR 논리소자의 구현방법," *대한민국 특허출원 01-58131*, 2001.
- [9] 김재현, 변영태, 전영민, 이석, 우덕하, 김선호, 강광남, "반도체 광증폭기를 이용한 전광 NAND 논리소자의 구현장치," *대한민국 특허출원 01-59368*, 2001.

2.5 Gbit/s all-optical OR logic gate using semiconductor optical amplifiers

Young Tae Byun[†], Jae Hun Kim, Young Min Jeon, Seok Lee, Deok Ha Woo, and Sun Ho Kim

Photonics Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 130-791, KOREA

[†]E-mail: byt427@kist.re.kr

(Received October 22, 2001 ; revised manuscript received February 16, 2002)

All-optical OR logic gate is realized by use of gain saturation and wavelength conversion in the semiconductor optical amplifiers (SOA). It is operated by the nonlinearity of the SOA gain and hence to obtain the sufficient gain saturation of the SOA, pump signals are amplified by an Er-doped fiber amplifier (EDFA) at the input of the SOA. The operation characteristics of all-optical OR logic gate are successfully measured at 2.5 Gbit/s.

Classification codes : OE.050, IP.010.