

## 반도체 광증폭기를 이용한 10 Gb/s 전광 AND 논리소자

김재현<sup>†</sup> · 김병채 · 변영태 · 전영민 · 이 석 · 우덕하 · 김선호

한국과학기술연구원, 광기술연구센터

⊕ 136-791 서울시 성북구 하월곡동 39-1번지

(2002년 11월 12일 받음, 2003년 2월 18일 수정본 받음)

반도체 광증폭기의 이득포화원리를 이용한 전광 AND 논리소자가 10 Gb/s에서 처음으로 구현되었다. 먼저 첫 번째 반도체 광증폭기에 B 신호를 입력시켜 반전된 신호인 Boolean  $\bar{B}$ 이 얻어졌다. 이와 같이 반전된 신호는 두 번째 반도체 광증폭기에 A 신호와 함께 동시 입력되어 AND 논리소자의 특성이 얻어졌다.

주제어 : all-optical logic AND, semiconductor optical amplifier, gain saturation.

### I. 서 론

최근의 경향을 보면 시스템의 고속화와 대용량화에 대한 요구는 기하급수적으로 증가하고 있다. 현재 많은 시스템들을 보면 대부분 실리콘 물질, 즉 전기 신호에 기반을 두고 있는데 속도와 정보처리 용량의 제한이란 큰 장벽이 예상되기 때문에 미래 의존성이 불투명하다. 이에 반해 광소자를 이용한 시스템은 빠른 속도나 높은 정보처리 용량 등 많은 면에서 위와 같은 문제를 충분히 해결할 것으로 보인다. 일반적으로 시스템이 구성될 때는 단일 논리소자(AND, OR, XOR, NAND, NOR, NXOR)에 기반을 두어 집적시키는 방법을 이용하는데 광을 이용한 시스템도 예외가 될 수 없다.

최근에는 반도체 광증폭기(semiconductor optical amplifier: SOA)의 four wave mixing(FWM)을 이용한 AND,<sup>[1]</sup> nonlinear optical loop mirror(NOLM)을 이용한 AND,<sup>[2]</sup> 전광흡수변조기(electroabsorption modulator: EAM)를 이용한 AND,<sup>[3]</sup> cross-phase modulation(XPM) 파장변환기(wavelength converter)를 이용한 AND<sup>[4]</sup> 등 많은 연구들이 AND 논리소자의 개발에 집중되어 있다. AND 논리소자의 응용분야는 무수히 많으나 그 중 대표적인 것은 반가산기, 전가산기, 그리고 MUX/DEMUX 등의 연산 분야 및 전송 데이터 변환과 switching 등의 통신 분야를 들 수 있다.

위에서 언급된 NOLM과 같은 광섬유(fiber)를 이용한 소자는 높은 동작속도의 장점이 있으나 핵심 구성요소가 광섬유로서 복잡하고 다른 소자와 집적이 어려우므로 고집적화를 요구하는 광연산 시스템에 적용하기가 힘들다. 이에 비해서 단일 반도체 광증폭기를 이용한 방식의 광 논리소자는 안정적이고 시스템의 규모가 작으며 다른 광소자와의 결합이 용이할 뿐만 아니라 편광과 파장의 무의존성이 가능하다는 장점들이 있다.<sup>[5]</sup> FWM 방식이나 XPM 파장변환기도 반도체 광증폭기를 이용하나 반도체 광증폭기의 FWM 방식은 편광(polarization)

의존도가 매우 크고, XPM 파장변환기는 몇 개의 반도체 광증폭기로 구성된 소자로 제작공정이 복잡하여 향후 대량 생산이 힘들며 제작 비용이 높다. 따라서 이 논문에서는 단일 반도체 광증폭기의 고유 특성인 이득포화(gain saturation) 현상만을 이용하여 10 Gb/s에서 동작하는 AND 논리소자를 구현하였다.

### II. AND 논리소자의 동작 원리

본 연구에서는 SOA의 XGM(Cross Gain Modulation) 특성을 가지는 inverter<sup>[6]</sup>의 원리를 응용하였다. Inverter의 원리는 다음과 같다. 높은 광세기를 가지는 펌프(Pump) 신호가 SOA로 입사 되면 SOA는 운반자 고갈(carrier depletion) 현상을 겪게 된다. 따라서 일정한 주기의 펄스(pulse) 형태인 조사(probe) 신호는 SOA내에 운반자 고갈에 의한 이득 변조(gain modulation)와 동일하게 변조되어 출력되므로 출력 신호는 입력 펌프 신호의 반대 논리를 갖는다. SOA의 inverter로서의 특성에 관한 설명은 그림 1에 잘 묘사되어져 있다. 하지만 펄스 형식의 신호를 사용할 때에는 펄스의 크기 차가 크기 때문에 펄스 신호가 없을 때에는 출력되는 신호의 파위가 아주 작다. 따라서 조사 신호의 펄스가 없을 때에는 펌프 신호와 관계없이 출력 신호는 0이 된다. 전광 AND 논리소자를 구현하는 구성도는 그림 2와 같다. 먼저 클락 신호와 B 신호를 SOA-1에 동시에 입사 시키면 B 신호의 이득 변조된 Boolean  $\bar{B}$ 을 얻을 수 있다.

일반적으로 Inverter 구현에 필요한 조사 신호로 사용된 일정한 주기의 클락 신호를 A 신호로 대체한 후 펌프 신호인  $\beta$  신호와 같이 SOA-2에 입사 시키면 Boolean  $A\bar{B}$ 을 얻을 수 있다.<sup>[7]</sup> SOA-2의 간단한 수식 형태인 Boolean  $A\bar{B}$ 에  $\beta$  대신 SOA-1의 출력 값인 Boolean  $\bar{B}$ 으로 대체 하면  $A \cdot \beta = A \cdot (\bar{B}) = A \cdot B$ 가 얻어짐을 알 수 있다. 이는 AND 논리소자의 Boolean 값과 일치하므로 전광 AND 논리소자가 SOA를 이용하여 구현된다.

<sup>†</sup>E-mail: jaekim@kist.re.kr

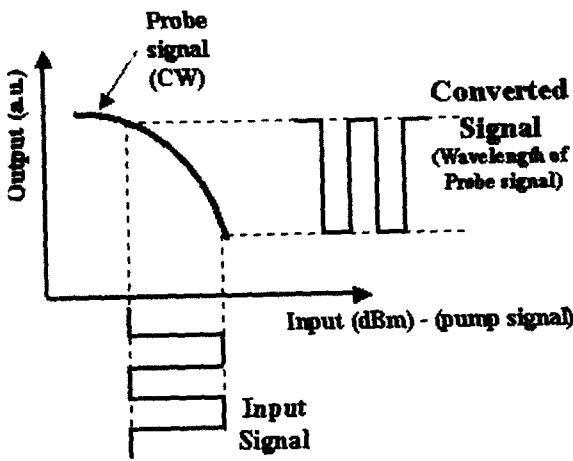


그림 1. SOA의 Inverter 동작 원리

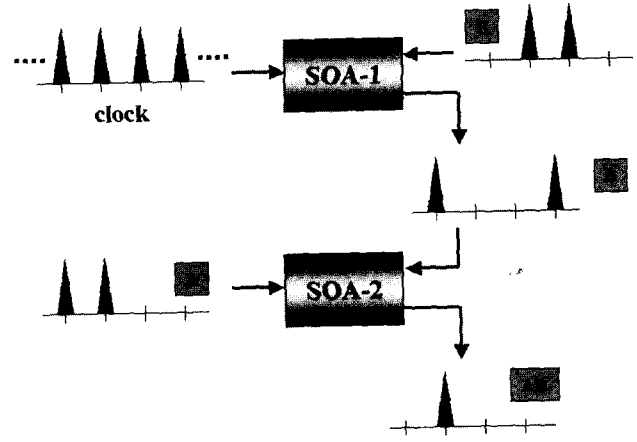


그림 2. 전광 AND 논리소자의 기본 개념도.

### III. 10 Gb/s 전광 AND 논리소자의 구현

그림 3은 전광 AND 논리소자를 구현하기 위한 실험장치도이다. 먼저 모드잠김 광섬유 링레이저(mode-locked fiber ring laser)와 펄스생성기(pulse generator)를 이용하여 400 ps의 주기를 가지는 2.5 GHz의 펄스 신호를 만들었다. 이때 생성된 펄스의 폭은 대략 38 ps 정도였다. 이렇게 만들어진 펄스 신호를 50:50 광섬유결합기(fiber coupler)에 입사하여 나누어 준 다음 한 부분을 100 ps 만큼 시간지연(delay) 시켰다. 그리고 시간지연이 주어진 신호와 그렇지 않은 신호를 같이 합쳐서 10 Gb/s에서 1100 패턴을 가지는 A 신호를 만들었다. 한편 1100 패턴을 가지는 A 신호를 100 ps 만큼 시간지연을 주어 0110 패턴을 가지는 B 신호를 만들었다. 그리고 A 신호를 역시 200 ps 만큼 시간지연 시켜 1111 형태의 클럭 신호를 만들었다. 조사 신호인 클럭 신호와 펌프 신호인 B 신호를 SOA-1에 입사하여 먼저 신호 B의 이득 변조된 1001 패턴을 가지는 Boolean  $\bar{B}$  신호를 만들었다. 이렇게 만들어진  $\bar{B}$  신호는 펌프 신호로

사용되어 조사 신호인 A 신호와 같이 SOA-2로 입사 되어 AND 신호가 얻어졌다. 그림 4는 입력 신호인 A, B, 이득 전환된  $\bar{B}$  신호 및 출력 신호인 AND 신호를 보여준다. 그림 4에서 보는 바와 같이 1100의 패턴을 가지는 A 신호와 0110 패턴을 가지는 B 신호를 합했을 때 0100의 패턴을 가지는 출력신호가 측정되었다. 출력 신호에서와 같이 A 신호가 논리 1이고 B 신호가 논리 1일 때 출력 신호는 논리 1을 가지며 그 외에는 모든 출력 신호가 논리 0을 가진다. 이와 같은 결과는 표 1의 AND 진리표(Boolean AND)와 일치하므로 AND 논리소자의 특성이 실험적으로 입증되었다. SOA-1과 SOA-2를 충분히 이득포화(saturation) 시켜주기 위해서 가해진 전류는 각각 115 mA와 164 mA였다. 그리고 EDFA-1과 EDFA-2에 가해진 전류는 각각 67 mA와 58 mA였다. SOA-1으로 주입된 조사 신호와 펌프 신호, 그리고 출력된 신호의 광 세기는 각각 -4.1, 5.7, 그리고 2.3 dBm이었다. 또한 SOA-2로 주입된 조사 신호와 펌프 신호, 그리고 출력된 신호의 광 세기는 각각 -17.8, 5.5, 그리고 -4.2 dBm이었다. 본 연구에서는 앞서 설명된 논리의 검증과 실험을 통하여 10 Gb/s에서 동작하는 전광 AND 논리소자를 개발하였다.

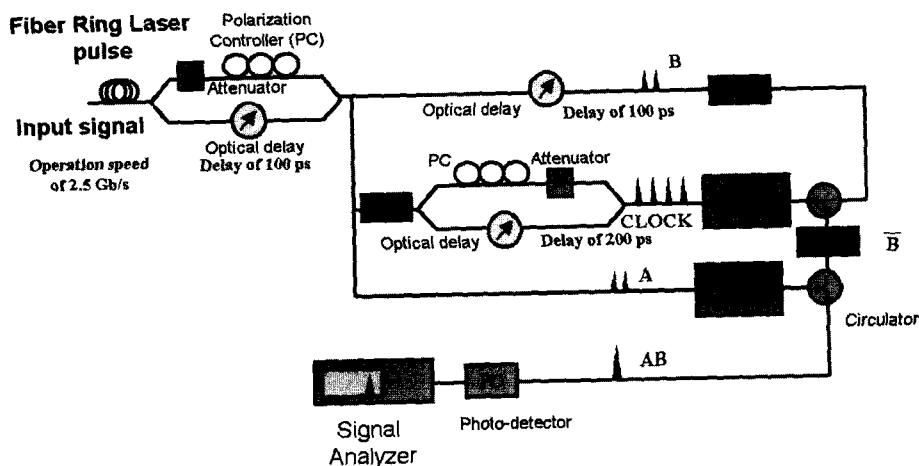


그림 3. 전광 AND 논리소자 구현을 위한 실험장치도.

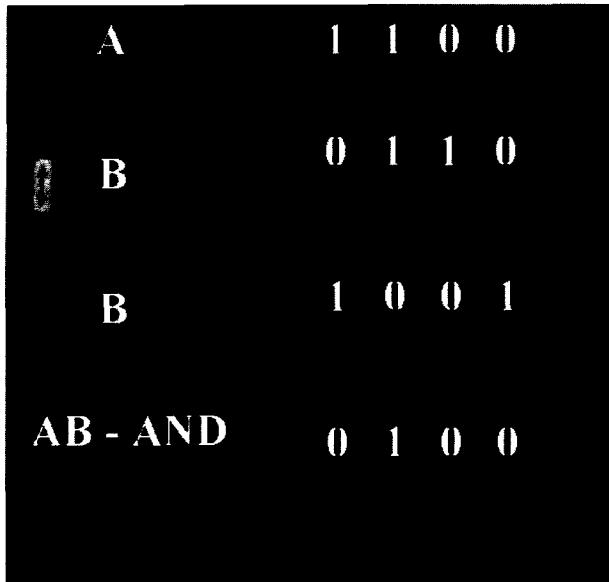


그림 4. 전광 AND 논리소자의 구현.

표 1. Truth table of logic AND

A	B	AND
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

#### IV. 결 론

본 논문에서는 반도체 광증폭기의 이득포화 원리를 이용한 전광 AND 논리소자가 처음으로 구현되었다. 동작 속도는 10 Gb/s였으며 RZ 형식에서 구현되었다. 먼저 첫 번째 반도체 광증폭기에 B 신호를 입력시켜 반전된 신호인 Boolean  $\bar{B}$ 이 실험적으로 구해졌다. 이와 같이 반전된 신호는 두 번째 반도체 광증폭기에 A 신호와 함께 동시 입력되어 AND 논리소자의

특성이 얻어졌다. 개발된 AND 논리소자는 반가산기, 전가산기, 그리고 MUX/DEMUX 등의 연산 분야 및 전송 데이터 변환 및 switching 등의 통신 분야에 응용이 가능하다.

#### 참고문헌

- [1] D. Nasset, M. C. Tatham, and D. Cotter, "All-optical AND gate operating on 10 Gbit/s signals at the same wavelength using four-wave mixing in a semiconductor laser amplifier," *Electron. Lett.*, vol. 31, no. 11, pp. 896-897, 1995.
- [2] B.-E. Olsson and P. A. Andrekson, "Polarization-independent all-optical AND-gate using randomly birefringent fiber in a nonlinear optical loop mirror," in *Optical Fiber Communications 1998*, pp. 375-376.
- [3] E. S. Awad, P. Cho, and J. Goldhar, "High-Speed all-Optical AND gate using nonlinear transmission of electroabsorption modulator," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 13, no. 5, pp. 472-474, 2001.
- [4] B. K. Kang, J. H. Kim, Y. T. Byun, S. Lee, Y. M. Jhon, D. H. Woo, J. S. Yang, S. H. Kim, Y. H. Park, and B. G. Yu, "All-optical AND gate using probe and pump signals as the multiple binary points in cross phase modulation," *Japan Journal of Applied Physics*, vol. 41, no. 5A, pp. L568 - L570, 2002.
- [5] T. Fjelde, D. Wolfson, A. Kloch, B. Dagens, A. Coquelin, I. Guillemot, F. Gaborit, F. Poingt, and M. Renaud, "Demonstration of 20 Gbit/s all-optical logic XOR in integrated SOA-based interferometric wavelength converter," *Electron. Lett.*, Vol. 36, No. 22, pp. 1863-1864, 2000.
- [6] J. H. Kim, B.-K. Kang, Y. H. Park, Y. T. Byun, S. Lee, D. H. Woo, S. H. Kim, and S. S. Choi, "High speed all-optical logic gates by using SOA-based devices," in *Contemporary Photonics Technology 2001*, Tokyo, Japan, 2001, pp. 101-102.
- [7] J. H. Kim, Y. M. Jhon, Y. T. Byun, S. Lee, D. H. Woo, and S. H. Kim, "All-optical XOR gate using semiconductor optical amplifiers without additional input beam," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 14, no. 10, pp. 1436-1438, 2002.

### 10 Gb/s all optical AND gate by using semiconductor optical amplifiers

Jae Hun Kim<sup>†</sup>, Byung Chae Kim, Young Tae Byun, Young Min Jhon, Seok Lee, Deok Ha Woo and Sun Ho Kim

Photonics Research Center, KIST, Seoul 136-791, KOREA

<sup>†</sup>E-mail: jaekim@kist.re.kr

(Received November 12, 2002, Revised manuscript February 18, 2003)

By using gain saturation of semiconductor optical amplifiers (SOAs), an all-optical AND gate at 10 Gb/s has been successfully demonstrated. Firstly, Boolean  $\bar{B}$  has been obtained using the first SOA with signal B and clock injection. Then, the all-optical AND gate is achieved using the second SOA with signals A and  $\bar{B}$  injection.

OCIS Code : 250.598.