

Semiconductor Optical Amplifier를 이용한 5 Gb/s 전광 XOR 논리소자

김재현[†] · 변영태 · 전영민 · 이 석 · 무덕하 · 김선호

한국과학기술연구원, 광기술연구센터

⑧ 136-791 서울시 성북구 하월곡동 39-1

(2001년 9월 7일 받음, 2001년 12월 10일 수정본 받음)

SOA (Semiconductor Optical Amplifier)의 inverter 원리를 응용하여 RZ 형식의 전광 XOR 논리소자가 5 Gb/s의 속도에서 처음으로 구현되었다. 먼저 Boolean \bar{AB} 와 Boolean \bar{AB} 가 실험적으로 구현되었으며 전광 XOR 논리소자를 만들기 위해서 AB 와 \bar{AB} 를 합하여 XOR의 Boolean 값인 $\bar{AB} + \bar{AB}$ 의 특성이 얻어졌다.

주제어 : semiconductor devices, optical information processing.

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 예상되며 때문에 미래 의존성이 불투명하다. 이에 반해 Indium Phosphide (InP)에 기반을 둔 광소자를 이용한 시스템은 속도나 정보처리 용량 등 모든 면에서 위와 같은 문제를 충분히 해결할 것으로 보인다. 일반적으로 시스템이 구성될 때는 단일 논리소자 (AND, OR, XOR, NAND, NOR, NXOR)에 기반을 두어 집적화하는 방법을 이용하는데 광을 이용한 시스템도 예외가 될 수 없다.

최근에는 UNI(Ultrafast Nonlinear Interferometer)를 이용한 XOR,^[1] TOAD(Terahertz Optical Asymmetric Demultiplexer)를 이용한 XOR,^[2] Sagnac Gate를 이용한 XOR,^[3] 그리고 IWC (Interferometric Wavelength Converter)를 이용한 XOR^[4] 등 많은 연구들이 XOR 논리소자의 개발에 집중되어 있다.

위에서 언급된 UNI나 TOAD, 그리고 Sagnac Gate를 이용한 소자는 높은 동작속도의 장점이 있으나 핵심 구성요소가 광섬유(fiber)로서 복잡하고 다른 소자와 접合이 어려우므로 고집적화를 요구하는 광연산 시스템에 적용하기가 힘들다. 이에 비해서 단일 반도체 광증폭기(Semiconductor Optical Amplifier; SOA)를 이용한 방식의 광 논리소자들은 안정적이고 시스템의 규모가 작으며 다른 광소자와의 결합이 용이할 뿐만 아니라 편광과 파장의 무의존성이 가능하다는^[4] 장점들이 있다. IWC 도 이러한 SOA를 접적시켜 만든 소자이나 제작공정이 매우 복잡하여 대량 생산이 힘들다. 그리고 지금까지 발표된 XOR 논리소자는 모두 clock 신호에 의존하므로 논리신호는 항상 clock 신호와 같은 주파수에서 동작하여야 한다. 하지만 본 연구는 처음으로 2개의 단일 SOA들의 inverter 특성을 이용하여

XOR 논리소자를 구현하는 기술로서 SOA들의 입력 신호는 A 신호와 B 신호에만 의존하기 때문에 clock 신호의 의존성이 없다. 따라서 A 신호와 B 신호의 속도만 일치하면 clock 신호 없이 XOR 논리소자의 구현이 가능하다. 그리고 속도에 상관없이 다른 광 논리소자와 접合이 가능하다.

II. XOR 논리소자의 원리

본 연구에서는 SOA의 XGM(Cross Gain Modulation) 특성을 가지는 inverter^[5]의 원리를 응용하였다. Inverter의 원리는 다음과 같다. 높은 광세기를 가지는 펌프(Pump) 신호가 SOA로 입사 되면 SOA는 운반자 고갈(carrier depletion)현상을 겪게 되므로 이득변조(gain modulation)가 생긴다. 따라서 일정한 주기의 펄스(pulse) 형태인 조사(probe) 신호는 SOA에 유기된 이득변조와 동일하게 변조되어 출력되므로 출력신호는 입력 펌프신호의 반대 논리를 갖는다. SOA의 inverter로서의 특성에 관한 설명은 그림 1에 잘 묘사되어져 있다. 하지만 펄스 형식의 신호를 사용할 때에는 펄스의 크기차가 크기 때문에

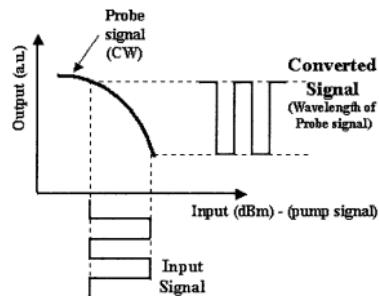
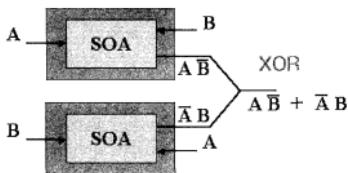


그림 1. SOA의 Inverter 동작 원리

[†]E-mail: jaekim@kist.re.kr

표 1. XOR: Boolean $A\bar{B} + \bar{A}B$

| A | B | XOR |
|---|---|-----|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 |

에 펄스 신호가 없을 때에는 파워가 아주 작다. 따라서 조사 신호의 펄스 신호가 없을 때에는 펌프 신호와 관계없이 출력 신호는 0이 된다. 이와 같이 Inverter 구현에 필요한 일정한 주기의 펄스 형태인 조사신호를 A 신호와 유사한 형태를 가지는 B 신호로 대체한 후 입사 시키면 Boolean AB 과 Boolean AB 를 구현할 수 있다. 먼저 A 신호를 조사 신호, 그리고 B 신호를 펌프신호로 입사 시키면 Boolean AB 을 얻을 수 있다. 역시 다른 SOA에 A 신호를 펌프신호, 그리고 B 신호를 조사신호로 입사 시키면 Boolean AB 를 얻을 수 있다. 따라서 그림 2에서 보이는 것과 같이 출력신호 $\bar{A}B$ 와 $A\bar{B}$ 를 합치면 표 1과 같이 $A\bar{B} + \bar{A}B$ 의 값을 가지는 전광 XOR 논리소자를 구현할 수 있다.

III. 5 Gb/s 전광 XOR 논리소자의 구현

그림 3은 전광 XOR 논리소자를 구현하기 위한 실험장치이다. 먼저 모드잡김 광섬유 링레이저(Mode-Locked Fiber Ring Laser)와 펄스생성기(Pulse generator)를 이용하여 800 ps의 간격을 가지는 1.25 GHz의 펄스 신호를 만들었다. 이때 생성된 펄스의 폭은 100 ps 정도이고 펄스의 크기 차는 대략 40 dB 정도였다. 이렇게 만들어진 펄스 신호를 50:50 광섬유결합기(coupler)에 입사하여 나누어 준 다음 한 부분을 200

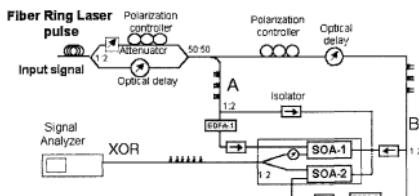
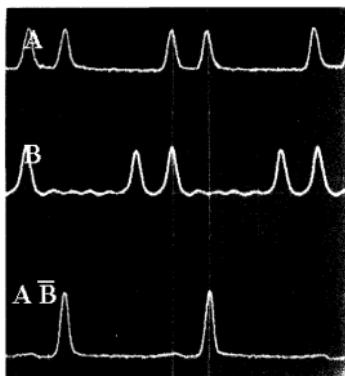


그림 3. 전광 XOR 논리소자 구현을 위한 실험장치도.

그림 4. Boolean AB 의 구현.

ps 만큼 시간지연(delay) 시켰다. 그리고 시간지연이 주어진 신호와 그렇지 않은 신호를 같이 합쳐서 1100 패턴의 A 신호를 만들었다. 한편 1100 패턴을 가지는 A 신호는 600 ps 만큼 시간지연을 주어 1001 패턴을 가지는 B 신호를 만들었다. SOA-1에서는 A 신호가 조사신호, 그리고 B 신호가 펌프신호의 역할을 하며 SOA-2에서는 A 신호가 펌프신호, 그리고 B 신호가 조사신호의 역할을 한다. 먼저 SOA-1을 이용하여 Boolean $A\bar{B}$ (그림 4)를 만들고 SOA-2를 이용하여 Boolean $\bar{A}B$ (그림 5)를 만든 다음 50:50 광섬유결합기를 이용하여 합해주었다. 이렇게 합해진 신호를 신호검출기(Photo-detector)에 연결된 오실로스코프(Oscilloscope)로 측정하였다. 그림 6는 SOA-1과 SOA-2의 출력신호의 합, 즉 5 Gb/s에서의 XOR

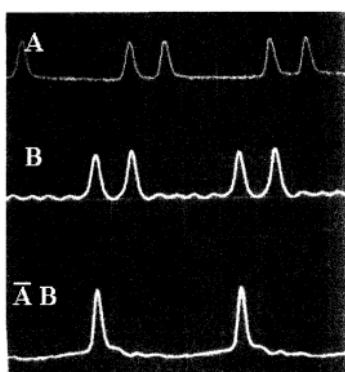
그림 5. Boolean $\bar{A}B$ 의 구현.



그림 6. Gb/s 전광 XOR 논리소자의 구현.

논리소자의 동작 특성이다. 그림 6에서 보는 바와 같이 1100의 패턴을 가지는 A 신호와 1001 패턴을 가지는 B 신호를 합했을 때 0101의 패턴을 가지는 출력신호가 측정되었다. 출력신호에서와 같이 A 신호가 논리 0이고 B 신호가 논리 1일 때 출력신호는 논리 1을 가지며 A 신호가 논리 1이고 B 신호가 논리 0일 때 출력신호는 역시 논리 1을 가진다. 그와 두 신호가 모두 같은 때, 즉 신호 A가 논리 0이고 신호 B가 논리 0일 때와 신호 A가 논리 1이고 신호 B가 논리 1일 때의 출력신호는 논리 0을 가진다. 이와 같은 결과는 표 1 (Boolean XOR)과 일치하므로 XOR 논리소자의 특성이 실험적으로 입증되었다. SOA-1과 SOA-2를 충분히 이득포화(saturation) 시켜주기 위해서 가해진 전류는 각각 126 mA와 68 mA였다. 그리고 EDFA-1과 EDFA-2에 가해진 전류는 둘 다 130 mA였다. 본 연구에서는 앞서 설명된 논리의 검증과 실험을 통하여 5 Gb/s에서 동작하는 전광 XOR 논리소자를 개발하였다. 본 논문에서 제안된 XOR 논리소자의 구동 속도는 실험에 사용된 필스 생성기에서 나오는 광신호의 필스 폭이 100 ps정도 이므로 5 Gb/s 정도로 계산된다. 하지만 현재 알려진 SOA의 XGM을 이용한 최고 광장변환속도는 100 Gb/s 정도이고^[6] XGM을 이용한 NOT 논리소자를 이미 20 Gb/s에서 구현하였다.^[5] 따라서 동작속도를 높이기 위해 10 Gb/s 이상으로 동작되는 광섬유 Mode Locked laser diode (MLLD)의 필스 폭을 줄이는 연구를 현재 진행중이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 SOA(Semiconductor Optical Amplifier)를 이용하여 전광 XOR 논리소자를 처음으로 구현하였다. 동작 속도는 5 Gb/s였으며 RZ 형식에서 구현되었다. 먼저 Boolean \bar{AB} 와 Boolean \bar{AB} 가 실험적으로 구현되었으며 전광 XOR 논리소자를 만들기 위해서 \bar{AB} 와 \bar{AB} 를 합하여 XOR의 Boolean 값인 $AB + AB$ 의 특성이 얻어졌다. Boolean AB 나 \bar{AB} 의 구현은 multiplexer 같은 복잡한 논리 등에 응용이 가능하다. 그리고 이 연구에서 처음으로 개발된 XOR 논리소자는 입력신호에만 의존하기 때문에 clock을 필요로 하는 지금 까지 개발된 XOR 논리소자보다 구현이 용이 하며 어떠한 속도를 가지는 소자와도 접속이 가능하다.

참고문헌

- C. Bintjas, M. Kalyvas, G. Theophilopoulos, T. Stathopoulos, H. Avramopoulos, L. Occhi, L. Schares, G. Guekos, S. Hansmann, and R. Dall'Ara, "20 Gb/s All-Optical XOR with UNI Gate," *IEEE Photonics Techn. Lett.*, vol. 12, no. 7, pp. 834-836, 2000.
- A. J. Poustie, K. J. Blow, A. E. Kelly, and R. J. Manning, "All-optical binary full adder," *Opt. Commun.*, vol. 156, no. 1-3, pp. 22-26, 1998.
- T. Houbavilis, K. Zoiros, A. Hatziefremidis, H. Avramopoulos, L. Occhi, G. Guekos, S. Hansmann, H. Burkhard, and R. Dall'Ara, "10 Gbit/s all-optical Boolean XOR with SOA fibre Sagnac gate," *Electron. Lett.*, vol. 35, no. 19, pp. 1650-1652, 1999.
- 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.
- 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.
- A. D. Ellis, A. E. Kelly, D. Nesson, D. Pitcher, D. G. Moodie, and R. Kashyap, "Error free 100 Gbit/s wavelength conversion using grating assisted cross-gain modulation in 2 mm long semiconductor amplifier," *Electron. Lett.*, vol. 34, no. 20, pp. 1958-1959, 1998.

5 Gb/s all-optical XOR gate by using semiconductor optical amplifier

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

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

[†]E-mail: jaekim@kist.re.kr

(Received September 7, 2001 ; revised manuscript received December 10, 2001)

By using SOA (Semiconductor Optical Amplifier), all-optical XOR gate has been demonstrated at 5 Gb/s in RZ format. Firstly, Boolean AB and Boolean \bar{AB} have been obtained. Then, Boolean AB and Boolean \bar{AB} have been combined to achieve the all-optical XOR gate, which has Boolean logic of $AB + \bar{AB}$.

Classification codes : OE.050, IP010.