

# 반도체 광증폭기와 외부변조 기법을 이용한 전광 NOR 논리소자

## An All-Optical NOR Logic Device using a Semiconductor Optical Amplifier and an External Modulation Technique

변영태 · 김상혁 · 이석 · 김재현\* · 우덕하 · 김선호

한국과학기술연구원 광기술연구센터

Young Tae Byun, Sang Hyuck Kim, Seok Lee, Jae Hun Kim\*, Deok Ha Woo, and Sun Ho Kim

Photonics Research Center,

Korea Institute of Science and Technology, Seoul, 130-650, Korea

All-optical NOR logic device was realized by use of two pump signals with a single wavelength and a semiconductor optical amplifier(SOA). Specially, Mach-Zehnder(MZ) modulator was used for an external modulation of the pump signals. 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. Pump and probe signals are obtained from a DFB laser diode( $\lambda_p=1554$  nm) and a tunable laser diode( $\lambda_s=1535$  nm), respectively. The operation characteristics of the NOR logic device are successfully measured and demonstrated at the modulation frequency of 4.83 Mhz.

### I. 서론

지역망(LAN)에 대한 대역폭의 수요가 급증함에 따라 10~100 Gb/s 영역에서 동작하는 스위치에 대한 필요성이 다중/분할, header 처리, 그리고 packet routing을 수행하기 위해 생길 것이다[1]. 전광(all-optical) 스위치들은 high bit rate의 잠재성을 가지고 있기 때문에 초고속(high rate) 전광 네트워크의 핵심소자가 될 전망이다. 더욱이 전광 접근 방법은 광전변환이 필요하지 않기 때문에 시스템 설계를 단순화시킬 것으로 예견된다.

전광네트워크를 구현할 때 필요한 전광 논리소자(all-optical logic gate)는 광의 비선형성과 파장 변환 방식을 이용하여 왔다[3-5]. 지금까지 SOA의 비선형 이득을 이용해서 발표된 전광 논리소자들은 크게 세 종류로 나눌 수 있다. 첫째는 단일 광경로 초고속 비선형 간섭계(single-arm ultrafast nonlinear interferometer: UNI) 구조로 구현된 inverter[4]와 AND, NOT, OR, NOR 전광 논리소자[6]들이 있

다. 둘째는 단일 파장의 두 펌프신호로 구현된 전광 NOR 소자[5]와 XOR 소자[7]들이 있다. A. Sharaih a 등은[5]는 펌프신호를 만들기 위해 DFB 레이저를 직접 변조시키는 직접변조(direct modulation) 방법을 사용하였다. 셋째는 서로 다른 두 파장의 펌프신호를 이용해서 얻은 전광 NOR 논리소자이다[8].

본 논문에서는 같은 파장( $\lambda_p$ )의 두 펌프신호(A와 B)와 MZ 광변조기로 펌프신호를 변조시키는 외부변조(external modulation) 방법으로 전광 NOR 논리소자의 동작특성을 얻을 수 있었다.

### II. 동작 원리

전광 NOR 논리소자는 SOA의 이득포화와 파장 변환의 두 가지 특성을 이용함으로써 얻어질 수 있다. 이득포화는 SOA의 이득이 운반자 밀도에 의존하고 광증폭이 일어날 때 운반자 밀도가 감소되기 때문에 생긴다. 광신호의 파장을 변환시키기 위한 기본적인 메커니즘은 SOA의 이득포화를 일으키는

## 디스플레이 광소자분야

강한 신호에 의존한다. 만일  $\lambda_p$ 의 고출력의 광이 SOA에 입사되면 입력 광세기( $P_{in}$ )가 고준위(high level), 즉 "1"에 있을 때 SOA의 이득이 급속히 감소된다. 그리고 입력 광세기가 저준위(low level), 즉 "0"에 있을 때 SOA의 이득이 급속히 원래의 값으로 증가될 것이다. 따라서 SOA의 이득은 입력 광세기( $P_{in}$ )의 변조와 반대인 역변조를 만든다. 이는 그림 1에 잘 표현되어있다.

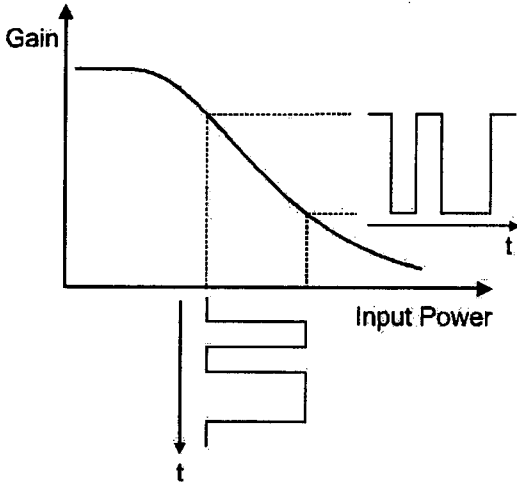


그림 1. SOA의 이득포화에 의한 파장변환의 원리.

위에서 언급된 SOA의 이득포화와 파장변환을 이용하여 전광 논리소자를 구현할수 있다. 앞에서 설명했듯이 파장이  $\lambda_p$ 인 강한 입력 변조신호 A( $\lambda_p$ )와 B( $\lambda_p$ ), 그리고 약한 연속신호 C( $\lambda_s$ )가 동시에 SOA에 입사되면 신호 A( $\lambda_p$ )와 B( $\lambda_p$ )에 의한 이득포화 때문에 연속신호 C( $\lambda_s$ )는 역변조되어 출력된다. 따라서 SOA의 이득이 A( $\lambda_p$ )나 B( $\lambda_p$ )만으로 포화될 수 있도록 SOA bias 전류와 입력 광파워

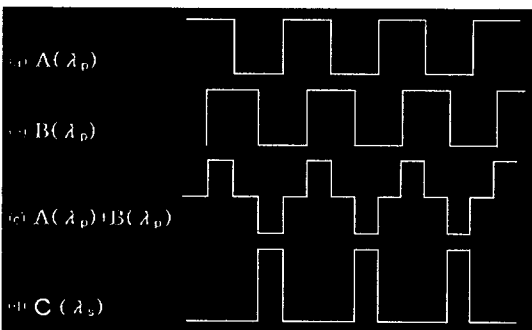


그림 2. 전광 NOR 논리 소자의 동작원리.

가 적당히 선택되면 SOA 출력에서 연속신호 C( $\lambda_s$ )의 전광 NOR 논리 동작 특성이 얻어진다.

전광 NOR 논리소자의 특성을 얻기 위해서는 그림 2와 같은 square 파형을 만들어 주는 것이 편리하다. 그림 2 (d)는 (c)의 파형을 갖는 펄프신호와 약한 조사신호가 동시에 SOA에 입사되었을 때 SOA의 이득포화로 생긴 조사신호(probe signal)( $\lambda_s$ )의 전광 NOR 논리동작을 잘 보여주고 있다. 즉 조사신호( $\lambda_s$ )는 두 개의 펄프신호가 동시에 SOA에 입사되지 않을 때만 SOA의 출력단에 나타난다.

### III. 실험 및 논의

전광 NOR 논리소자의 동작특성을 얻기 위해 사용된 실험 장치도는 그림 3에서 보여진다. 본 실험에서는 (0,0), (0,1), (1,0), (1,1)의 네 개의 논리신호를 갖는 펄프신호를 만들기 위해서 square 파형의 전압이 광변조기에 인가되었다. DFB LD의 구동 전류가 40 mA이고 광변조기가 4.84 MHz로 변조될 때 pulse generator의 square 전압신호와 변조된 광신호는 그림 4에서 보여진다. 여기서 위쪽 파형은 pulse generator 출력을 오실로스코프의 CH1에서 측정 한 것이고 아래쪽 파형은 변조기의 출력을 오실로스코프의 CH2에 연결하여 측정하였다. 그림 4에서 pulse generator와 변조기에서 출력된 두 파형의 위치가 정확하게 일치하지 않는다. MZ 광변조기의 출력은 두 광경로 차가 정확하게 일치될 경우 출력

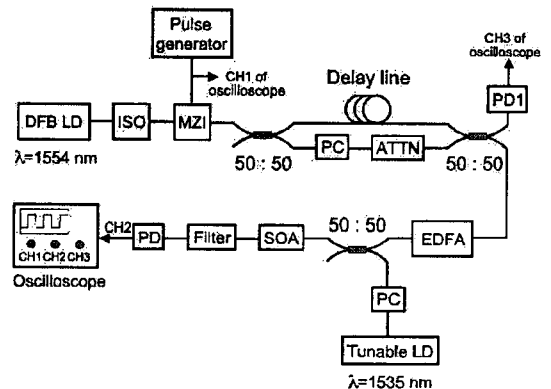


그림 3. 전광 NOR 논리소자의 구성도.

단에서 보강간섭이 일어나서 입사된 빛이 출력된다. 그리고 전극에 전압을 인가하여 두 광경로를 지나 는 광의 위상차가 180° 가 되면 상쇄간섭이 일어나서 광이 출력되지 않는다. 따라서 본 실험에서 사용

된 광변조기는 전압이 인가되지 않았을 때 두 광경로를 지나온 광 사이에 위상차가 존재하기 때문에 전압과 변조파형이 일치하지 않음을 알 수 있다. 즉 변조 파형이 74 ns(13.51 Mhz) 만큼 지연되어 나오는 것을 그림 4에서 확인할 수 있었다. 그러나 전광 NOR 논리소자의 동작특성은 변조광 신호에 의해 결정되므로 pulse generator의 square 전압신호와 변조된 광신호의 파형을 정확히 맞출 필요는 없다.

한편 변조 주파수가 4.84 Mhz로 변조된 광신호는 50:50 광섬유 결합기에 의해서 분리된다. 광섬유 결합기의 한쪽 광경로는 광신호의 지연을 주기 위해 14.8m 길이의 delay line에 연결되었다. 다른 쪽 광경로는 두 광경로를 지나온 광신호가 두 번째 광섬유 결합기에서 합쳐질 때 똑같은 광세기를 갖도록 조절하기 위해 광감쇄기를 통과할 뿐만 아니라 편광을 일치시키기 위해 편광 조절기를 지나도록 되어 있다. 두 번째 광섬유 결합기의 출력 단에서 한쪽 광경로의 논리신호는 오실로스코프의 CH3에서 측정된다. 측정된 논리신호의 파형은 그림 5에서 볼 수 있는데 그림 2 (c)와 같은 형태를 갖게 된다. 반면에 다른 광경로의 논리신호는 EDFA에서 증폭되어 세 번째 광섬유 결합기에 입사된다.

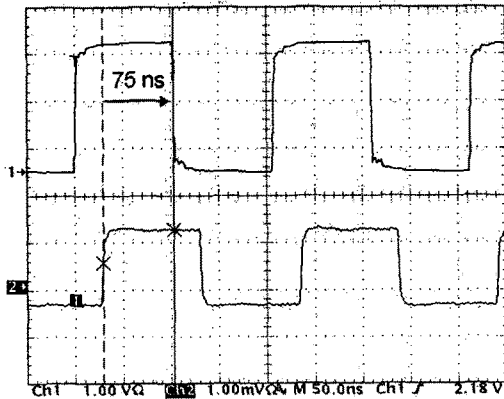
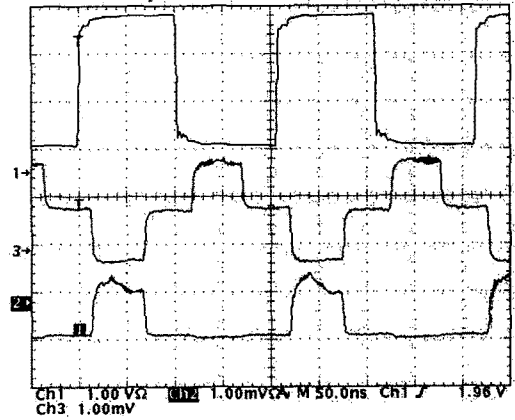


그림 4. 광변조기에 인가된, 전압 파형(상)과 변조 파형(하) 비교.

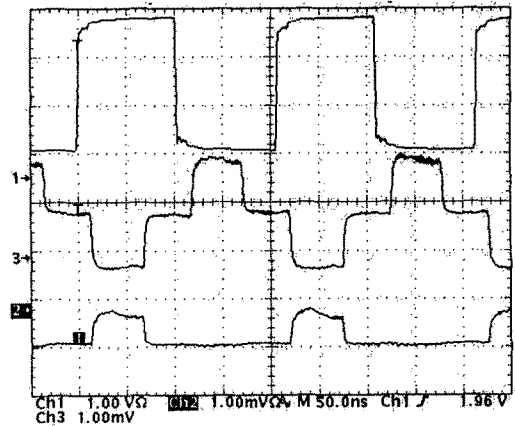
Tunable LD의 조사신호( $\lambda_s$ )는 세 번째 광섬유 결합기에서 논리신호와 합쳐진 후 SOA의 입력단에 입사된다. 이때 조사신호의 파장은 1535 nm이고 출력광의 세기는 1 mW 이었다. EDFA와 SOA의 구동전류를 적당하게 인가하면 SOA의 이득포화에 의해 전광 NOR 논리소자의 동작특성들이 얻어진다. SOA의 출력광은 광필터를 지나 광검출기에 의해

검출된다.

그림 5는 변조 주파수가 4.83 Mhz이고 EDFA와 SOA의 구동전류( $I_{SOA}$ 와  $I_{EDFA}$ )가 각각 123 mA와 170 mA일 때 두 개의 조사신호 파장에서 측정된 전광 NOR 논리소자의 동작을 보여준다. 그림 5 (a)로부터 조사신호의 파장이 1535 nm인 경우 논리신호가 (1,0)와 (0,1)일 때 SOA의 이득포화가 충분히 일어나지



(a)  $\lambda_s=1535$  nm



(b)  $\lambda_s=1530$  nm

그림 5. 조사신호( $\lambda_s$ )의 파장에 따른 전광 NOR 논리소자의 특성.

않는 것을 알 수 있다. 그 결과 논리신호가 (1,0)와 (0,1)일 때의 광세기가 (1,1)일 때의 광세기보다 약간 크게 나타난다. 이 경우 SOA의 이득을 충분히 포화시키기 위해  $I_{EDFA}$ 를 123 mA보다 더 증가시켜야 한다. 반면에 조사신호의 파장이 1530 nm일 때는 (1,0)과 (0,1)의 논리신호에서 SOA의 이득포화가 충분히 일어나기 때문에 (1,0)과 (0,1), 그리고 (1,1)의 세

## 디스플레이 광소자분야

논리신호의 세기가 거의 같음을 그림 5 (b)에서 확인할 수 있다. 이 경우  $I_{EDFA}$ 가 123 mA부터 105 mA 까지 감소될 때 (1,0), (0,1), 그리고 (1,1)에 해당되는 조사신호의 광세기가 거의 비슷하고 (0,0)에 해당되는 조사신호의 세기가 증가한다. 따라서 SOA의 이득포화는 조사신호의 파장이 펌프신호의 파장에서 멀리 떨어질수록 더 낮은 광세기의 펌프신호에서 얻어지는 것을 알 수 있다.

그림 5에서 파장에 따른 조사신호의 크기를 비교할 때 1530 nm에서 전광 NOR 논리소자의 신호가 작음을 알 수 있다. 이 원인을 정확하게 알아보기 위해 먼저 EDFA 입력 단에서 논리신호의 광세기가 측정되었다. Optical Spectrum Analyzer를 이용하여 측정된 EDFA에 입력되는 논리신호( $\lambda_p=1554$  nm)의 광세기는 -9.17 dBm이었다. 한편  $I_{EDFA}$ 가 증가될 때 출력광의 세기가 측정되었으며 그 결과는 표 1에서 보여진다. 표 1로부터 입력되는 논리신호의 광세기가 -9.17 dBm이기 때문에  $I_{EDFA}$ 가 0일 때 입력된 논리신호는 모두 흡수되고 구동전류가 증가함에 따라 점차 증폭되어 나오는 것을 알 수 있다.

EDFA	$\lambda_p=1554$ nm
0 mA	-34.28 dBm
50 mA	-3.75 dBm
100 mA	1.58 dBm
150 mA	4.25 dBm

표 1.  $I_{EDFA}$  증가에 따른 논리신호의 광세기 변화.

한편 표 2는 SOA의 구동전류가 170 mA로 고정되었을 때 EDFA의 구동전류 증가에 따라 SOA의 출력 단에서 측정된 논리와 조사신호의 광세기를 보여준다. 표 2으로부터 EDFA의 구동전류가 증가함에 따라 펌프신호는 천천히 증폭되고 조사신호는 빠르게 흡수되는 것을 알 수 있다. 따라서 앞에서 언급된 SOA의 이득포화는 조사신호의 파장이 1535 nm일 때보다 1530 nm에서 더 빨리 얻어진다는 사실과 EDFA의 구동전류가 클수록 조사신호의 흡수가 많이 일어난다는 사실로부터 1530 nm에서 더

EDFA	$\lambda_s=1535$ nm	$\lambda_p=1554$ nm
50 mA	-3.26 dBm	8.48 dBm
100 mA	-10.06 dBm	9.18 dBm
150 mA	-13.69 dBm	9.46 dBm

표 2.  $I_{SOA}=170$  mA일 때  $I_{EDFA}$  변화에 따른 SOA의 출력 단에서 조사와 논리신호의 광세기 변화.

많은 흡수가 일어나게 됨을 알 수 있다. 그러므로 그림 5 (b)의 전광 NOR 논리소자의 광세기가 그림 5 (a)에서 보다 작아지게 된다.

## IV. 결 론

전광 NOR 논리소자의 특성은 변조 주파수가 4.83 MHz일 때 1530 nm과 1535 nm의 두 조사신호 파장에서 측정되었다. SOA와 EDFA의 구동전류가 각각  $I_{SOA}=170$  mA와  $I_{EDFA}=123$  mA일 때 조사신호의 파장이 1535 nm보다 1530 nm에서 SOA의 이득포화가 잘 이루어지기 때문에 (0,1), (1,0), 그리고 (1,1) 논리신호에서 거의 같은 광세기로 NOR가 동작되고 있음을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] R. A. Barry, V. W. S. Chan, K. L. Hall, E. S. Kinzer, J. D. Moores, K. A. Rauchenbach, E. A. Swanson, L. E. Adams, C. R. Doerr, S. G. Finn, H. A. Haus, E. P. Ippen, and W. S. Wong, IEEE J. Lightwave Technol., **14**, 714 (1995)
- [2] D. Cotter, J. K. Luc다, P. Gunning, D. G. Moodie, A. J. Poustie, K. J. Blow, R. J. Manning, in: A. Hasegawa(Ed.), New Trends in Optical Soliton Communications (Kluwer Academic, Dordrecht, 1998) pp.367-380
- [3] N. S. Patel, K. A. Rauschenbach, and K. L. Hall, IEEE Photon. Technol. Lett., **8**, 1695 (1996).
- [4] K. L. Hall, J. P. Donnelly, S. H. Groves and A. Napoleone, Opt. Lett., **22**, 1479 (1997).
- [5] A. Sharaiha, H. W. Li, F. Marchese and J. Le Bihan, Electron. Lett., **33**, 323 (1997).
- [6] N. S. Patel, K. L. Hall and K. A. Rauschenbach, Opt. Lett., **21**, 1466 (1996).
- [7] T. Houbavlis, K. Zoiros, K. Vlachos, T. Papakyriakopoulos, H. Avromopoulos, F. Girardin, S. Hansmann, and H. Burkhard, IEEE Photon. Technol. Lett., **11**, 334 (1999).
- [8] 변영태, 김상혁, 김동환, 우덕하, 김선호, 응용물리(논문투고중) (2000).