

# 광기술평가사업

과학기술부 지정 중점 국가 연구 사업

## 차세대 포토닉스기술 연구개발 (광정보처리용 반도체 광기능 소자기술)

우덕하, 김재현, 박민철, 변영태, 전영민, 이석, 김선호  
한국과학기술연구원 광기술연구센터  
dhwoo@kist.re.kr

### 서론

1970년대의 반도체 레이저와 광섬유의 개발은 광통신 기술을 가능하게 하였다. 세계적으로 1980년대 초를 시작으로 본격적으로 실용화되기 시작하였고, 1990년대에는 광전송시스템의 실용화와 대중화에 기반이 되어왔으며, 2000년대를 시작으로 폭발적인 인터넷 수요의 증가로 인한 대용량의 광통신 및 광정보처리 네트워크의 구축의 필요성이 급속히 대두되어지고 있다. 특히, 2000년대를 시작으로 대용량 광통신 네트워크를 위한 기반 기술인 파장 분할 다중화(WDM) 기술의 도입이 활성화되고 있으나, 2010경에 보다 유연하고 대용량의 고속 네트워크를 구축하기 위해서는 전광(全光, all-optical)으로 구현되는 다양하고 새로운 기능의 차세대 포토닉스 기술의 실용화가 요구되고 있다.

광이 지닌 장점을 능동적으로 이용하고자 하는 '차세대 포토닉스 기술'은 기존의 광기술을 바탕으로 광을 능동적으로 제어하는 포토닉스 소자를 개발함으로써 기존 광기술의 핵심부품의 국산화 및 세계시장 선점을 위한 경쟁력 있는 광소자 기술을 한 차원 높일 뿐 아니라, 차세대 핵심 광소자의 개발로 가격과 특성에서 차별화된 새로운 개념의 광통신 및 광연산 기술개발, 광정보처리 시스템 기술개발 및 응용 소프트웨어 기술개발이 예상됨에 따라 미래의 정보화 사회에서 요구되는 대용량 정보처리 기술분야에 대응하는 통합적 기술인 새로운 광산업 분야의 창출이 가능하리라 예상된다. 차세대 포토닉스 기술 개발에서는 보다 빠르고, 대용량의 신호처리를 할 수 있으며, 저렴한 가격, 다양하고 새로운 기능을 가지며, 신뢰도가 높은 광네트워크 기술 개발에 노력이 집중되어야 한다.

차세대 포토닉스 기술은 빛과 광매질의 물리적 한계점까지 최대한으로 이용할 수 있게 하여 광통신 전송 및 네트워크 시스템 용량을 극대화할 수 있는 기술이 될 것이다. 광을 정보전달의 매체로만 인식하는 지금까지의 통신에의 응용에서 한 걸음 나아가 매개체로서 뿐만 아니라 광을 조작하는 도구로서 광을 이용함으로써 광으로 광을 제어하는 전광정보처리의 핵심 기술 개발에 대하여 소개한다.

현대 사회에서 빛을 이용하는 광기술은 광통신, 광센서(광측정), 광디스크, 바코드인식, 레이저 수술(의료진단), 카메라(기하광학) 등 여러 분야에 걸쳐 급속히 응용되고 있다. 하지만 현재까지의 광기술은 광의 고유 특성을 충분히 활용하지 못하는 수동적 개념의 광기술이었다. 그 한 예로 광통신 분야에서 광기술의 발달은 현재 수 Tbps의 전송 속도를 가능하게 할 정도로 발달되어 왔다. 하지만 이것은 단순히 photon을 전달 매체로써만 사용할 뿐 photon이 지나는 초고속성, 파장 및 공간의 병렬성이라는 개개의 특성을 전부 활용하지는 못하고 있기 때문이다.

또한 향후 대두할 정보화 사회에서는 대용량 정보를 처리할 수 있는 기술이 요구되지만, 기존의 전자적 정보처리 방식은 상대적으로 낮은 정보처리 속도, 전자파 간섭 등으로 인하여 차세대 대용량 정보처리 기술 구현에는 제한적이다. 따라서 이와 같은 현재의 기술적 문제를 해결하여, 다가오는 미래에는 다양한 광고유의 특성을 자유롭게 이용하는 광정보화 사회를 구축하여야 한다. 이와 같은 다양한 광특성을 자유롭게 이용하는 광정보화 사회를 구축하기 위해서는 다중성, 병렬성 및 초고속성 등의 장점을 가지고 있는 광 본연의 성질을 능동적으로 이용하려고 하는 차세대 광자 기술과 같은 새로운 광정보처리 기술 개발이 요구되어지고 있다.

차세대 포토닉스 기술 개발의 핵심 연구 아이디어는 이제까지 광을 정보전달의 매체로만 인식하는 통신에의 응용에서 한 걸음 나아가 매개체로서 뿐만 아니라 광을 조작하는 도구로서 광을 이용함으로써 광으로 광을 제어하는 기술의 개발이다. 현재의 전자공학 기술이 전자를 자유롭게 제어 할 수 있듯이, 다가오는 미래의 기술은 photon을 자유롭게 제어할 수 있는 기술이 핵심이 될 것이다. 이와 같은 능동적 개념의 광기술을 구현하기 위해서는 광을 제어하는 신기능의 photonic device의 개발로 구체화되어질 것이다. 이러한 차세대 photonic device의 기능별 예를 살펴보면 다음과 같다.

기능성 분류	대표적 소자에
· Logic	- 초고속 optical gate - optical buffer
· Time-domain device	- 극초단파열 생성 - optical clock recovery
· Wavelength-domain device	- wavelength converter
· Space-domain device	- 광스위치 소자 - 2차원 정보처리소자

이 절에서는 광정보처리 분야 중 현재 전광로직 기술의 개발에 대해 설명한다. 현재의 컴퓨터는 모두 전자 로직을 사용하고 있으며 이러한 로직은 모두 트랜지스터를 이용하여 구현되고 있다. 그러나 광기술에서는 아직 전자적인 트랜지스터에 해당되는 소자가 개발되지 못하고 있다. 그러므로 광연산을 구현하기 위해서는 트랜지스터의 조합으로 구현하는 로직을 바로 광소자로 구현하여야 한다. 따라서, 전광 논리 기술은 광통신에서뿐만 아니라 광정보처리용 광연산 구현기술의 핵심이 되고 있다.

전광통신 및 전광연산을 위해서는 AND, OR, XOR 그리고 그들과 NOT의 조합인 NAND, NOR, XNOR의 전광 논리소자들이 필요하다. 전광 NOR 논리 소자는 1997년에 발표되었던 SOA(Semiconductor Optical Amplifier)의 이득포화 특성(gain saturation)을 이용한 것이 대표적이다. 이 전광로직에서는 신호 재생을 위해 직접 변조 방식을 사용하였으며, 그 외에 외부 변조 방식을 이용하여 다른 논리소자와의 집적이 용이한 전광 NOR 논리 구현도 가능하다. 최근에는 EAM(Electroabsorption Modulator)의 SOA 특성을 이용한 NOR를 발표하였다. 현재까지 발표된 전광 AND 논리소자로는 SOA의 4파장혼합(Four-Wave Mixing)을 이용한 AND, 비선형 loop mirror (NOLM)를 이용한 AND 및 EAM을 이용한 AND 등이 있다. 또한 새로운 시도로 XPM 파장변환기(wavelength converter)를 처음으로 이용한 20Gbps 전광 AND 논리소자가 발표되었다. XPM 파장변환기는 2개 이상의 SOA가 집적된 소자로서 제작이 어렵고 비용이 높지만 일반적으로 다른 소자에 비해 속도가 빠르고 편광 의존성이 없는 장점들이 있다. 그리고 OR 논리소자의 세계적인 추세로는 XPM(Cross Phase Modulation) 파장변환기와 같은 역할을

하지만 모양이 다른 Michelson interferometer를 이용한 OR과 비선형 간섭계 (Ultra Nonlinear Interferometer)를 이용한 OR 등이 있다. 알려진 바에 의하면 NAND 논리소자는 aluminosilicate glass를 이용한 논리 구성이 유일하며 속도가 느리다는 큰 단점이 있다. XNOR 논리소자 역시 NOLM을 이용한 방식 이외에는 크게 알려진 바가 없다. 최근에는 UNI (Ultrafast Nonlinear Interferometer)를 이용한 XOR, TOAD (Terahertz Optical Asymmetric Demultiplexer)를 이용한 XOR, Sagnac Gate를 이용한 XOR, 그리고 IWC (Interferometric Wavelength Converter)를 이용한 XOR 등, 많은 연구들이 XOR 논리소자의 개발에 집중되어 있다.

지금까지 발표된 XOR 논리소자는 모두 clock 신호나 CW 신호에 의존하므로 논리신호는 항상 clock 신호와 같은 주파수에서 작동하거나 CW 신호의 영향을 받는다. 하지만 본 연구팀에서 제작된 전광 XOR 논리소자는 처음으로 2개의 단일 SOA의 inverter 특성을 이용하여 구현하는 기술로서 SOA들의 입력 신호는 A 신호와 B 신호에만 의존하기 때문에 clock 신호나 CW 신호의 의존성이 없다 (그림 1). 따라서 부가적인 신호의 입력이 없어도 XOR 논리소자의 구현이 가능하다는 장점이 있다. ~

전광 논리소자 기술의 세계적인 연구동향에 따르면 전광 기본 논리소자 (AND, OR, NOR, XOR, NAND, XNOR)들이 동일한 방식으로 모두 개발되지 못하고 있기 때문에 논리동작을 구현하는 기술이 모두 다르다. 그러나 본 연구팀에서는 SOA만을 이용하여 10 Gbps 이상으로 동작하는 AND, OR, XOR, NOR, NAND 전광 논리소자의 독자적인 원천기술을 개발하여 국내 및 미국, 일본, 독일에서 산업재산권을 확보하였다. 한편 위에서 언급한 기본 전광 논리소자 중 XOR과 AND 논리소자를 각각 SUM과 CARRY 동작을 얻을 수 있도록 간단한 전광 논리 회로를 구성함으로써 전광 계산기나 전광 컴퓨터에서 2진 덧셈의 기본인 반가산기(Half Adder)를 구현할 수 있는 기술이 개발되었다(그림 2). 현재 더 복잡한 덧셈을 수행할 수 있는 전광 전가산기(Full Adder)가 구현될 수 있는 독자적인 원천기술이 개발되고 있다. Full adder는 SUM 동작을 얻기 위해 2개의 XOR이 이용되고 CARRY 동작을 얻기 위해 4개의 NOR가 있으면 된다. 이 원천 기술이 완성되면 전광 연산 분야의 핵심 원천 기술을 보유하게 되고, 그 결과 광컴퓨터의 두뇌인 optical processor 개발이 앞당겨지게 될 전망이다.

미래의 광컴퓨터의 두뇌인 optical processor의 핵심은 산술 논리 단위(ALU)이고, ALU는 덧셈, 뺄셈, 곱셈 및 나눗셈으로 구성되기 때문에 4칙연산에서 핵심기술은 전 가산기(Full adder)이다. 본 연구팀에서 개발된 기본 전광 논리소자들은 반가산기와 전가산기를 구성하는 핵심 요소이므로 광연산 회로를 구성할 때 다양한 기능을 수행하기 위해 활용된다. 또한 전광 논리 기술은 차세대 전광 통신망 및 광정보처리 분야에서 다음과 같은 부분에 사용되어질 전망이다.

- 데이터 헤더를 변경한 후 데이터를 전송하고 싶을 때 헤더 부분의 데이터를 바꾸어 주는 All - Optical Label Switching.

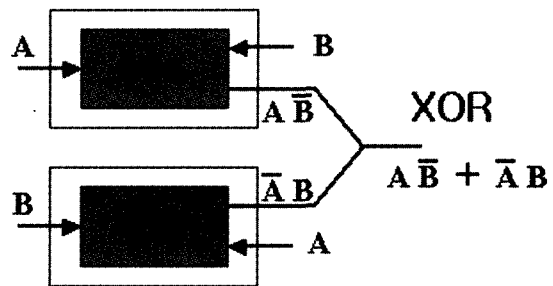


그림 1. SOA를 이용한 전광 XOR 논리 소자

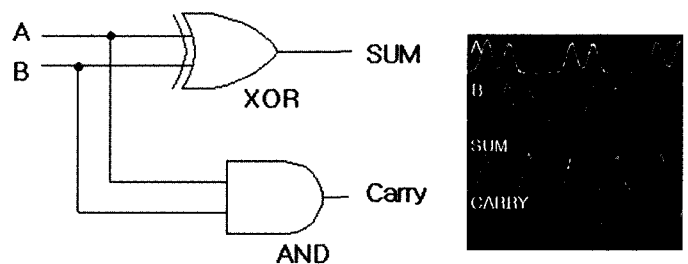


그림 2. XOR gate와 AND gate를 이용한 Half adder

- 데이터 전송 전이나 연산 중에 입력 신호에 오류가 생길 경우 데이터의 잘못된 일부분을 바꾸어 주는 All-Optical Part-of-Data Swapping.
- 데이터의 필요한 정보와 같은 자리에 논리 1을 가지는 펄프 신호를 주입하여 그 자리에 상응하는 데이터를 추출함으로써 데이터의 필요한 정보를 빼낼 수 있는 All-Optical Data Extraction.
- 서로 다른 두 데이터의 각 부분을 비교한 다음 그 부분이 같으면 논리 1이 출력되고 다르면 논리 0이 출력되게 함으로써 연산에서 데이터를 비교하거나 통신에서 전송된 신호의 에러 여부를 가늠할 수 있는 All-Optical Same Bit Recognition.
- 광인터넷의 구현을 위해 Subnet Mask를 전광으로 구현하는 IP Address Subnet Masking.
- 데이터 전송시 에러 검출 및 복원 능력을 갖기 위해 패리티 비트를 추가하여 전송하는 Parity Bit Generation.
- 전송된 데이터의 에러 검출하여 복원하기 위해 패리티 비트를 검사하는 Error Detection with Parity Bits.

### 3 결론

본 연구팀에서는 전광(全光, all-optical)으로 신호처리가 가능한 광논리(AND, OR, XOR, NAND, NOR, NXOR)회로 및 광연산(전광가산기) 시스템을 반도체 소자를 이용하여 개발하여 왔다. 그 결과 세계적으로 이 분야에서 가장 앞서가는 결과들을 속속 구현하여 국제학회에서 호평을 받았을 뿐만 아니라 다수의 국제 특허를 확보하여 세계적으로 기술 우위를 선점하게 되었다. 개발된 논리 소자들은 TOAD와 같이 fiber를 이용하는 소자에 비해서 구성이 간단하고, 동일한 동작원리로 구현되기 때문에 전광 논리회로를 구성하기 쉬우며, 집적화가 가능하다는 장점이 있다. 본 연구팀에서 확보한 개별 전광논리소자 기술을 집적화를 통하여 전광모듈로서 구현함으로써, 보다 빠르고, 대용량의 신호처리를 할 수 있으며, 저렴한 가격으로 생산 가능하며, 다양하고 새로운 기능을 가지며, 신뢰도가 높은 전광회로를 구성하는 핵심 광부품을 개발하여야 할 것이다. 이러한 전광 논리 광부품은 전광 교환기의 개발을 가능하게 하여 전광 통신망을 구현할 수 있을 뿐만 아니라, 초고속 연산 장치의 핵심 부품이 되어 초고속 정보 처리 시스템의 근간이 될 것이다. 또한 이 기술은 전광 기술 분야에서 국내뿐만 아니라 국제적으로도 기술을 선도하는 결과가 될 것이다.