

소 특 집

Optical Backplane 기술

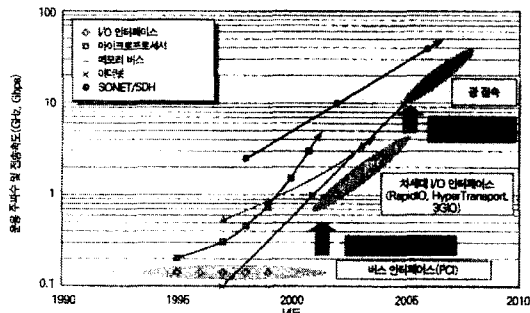
박종대, 이재기, 남상식
한국전자통신연구원 네트워크기술연구소

I. 서론

반도체 소자의 고집적화와 데이터처리 속도 증가로 말미암아 기존 전기적인 방법을 사용한 신호전달, 특히 구리배선을 사용한 신호전달의 경우 전자기적 간섭현상에 의해 처리속도와 인접 회로간 거리의 한계에 부딪치고 있다.^[1] 특히 고속대용량 정보통신 시스템, 대용량 병렬처리 컴퓨터와 같은 초고속 디지털시스템의 전송경로에서 마이크로웨이브와 같은 주파수 처리를 비롯해 노이즈, 반사 등의 문제를 제대로 컨트롤하지 못하면 정상적인 기능을 수행할 수 없기 때문이다 <그림 1 참조>^[2]. 이러한 문제를 해결하기 위해 인접한 회로간의 상호 간섭 및 용량성 부하효과가 없으며, 높은 데이터 전송속도, 높은 연결 밀도, 채널간 적은 누화(crosstalk), 낮은 소비전력, 적은 신호지연, GND를 통한 저 잡음전류 등과 같은 장점을 가진 광연결(Optical Interconnection) 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고

있다.

광연결은 초기에 논리소자 내에서 클럭 신호를 효율적으로 분배하기 위해 시도되었지만 시스템의 대형화, 고속화에 따른 데이터 병목 현상과 90년대 초 수직공진형 표면광레이저(VCSEL: Vertical Cavity Surface Emitting Laser) 출현^[3]으로 90년대 중반에 광원으로 850um 파장의 배열형 VCSEL을, 광전송 채널로 실리카 또는 플라스틱으로 다중모드 광섬유와 도파로를 일부 포함한 형태의 병렬형 광버스가 다수 개발되어^[4,5] 현재 대형컴퓨터나 큰 디지털시스템을 연결하는데 주로 이용되고 있다. 또한 앞으로 소자가 더욱 고속화 되어 동작주파수가 GHz 이상이 되면 전자를 이용하여 데이터를 전송하는 것보다 광으로 전송하는 것이 더 효율적이 되어 보드와 보드 사이, 칩과 칩 사이 또는 칩 내에서도 채택될 전망이다. 기술개발에 따른 가격하락이 이루어진다면 일반수요자를 대상으로 많은 수요가 예상된다.^[6] 본 논문에서는 선진국의 광 접속기술, 칩 제조업체들의 동향 및 각종 광연결 솔루션 등에 관한 기술 동향 등을 기술하였다.



<그림 1> 전송속도에 따른 각종 접속기술^[1]

II. 광연결 연구 동향

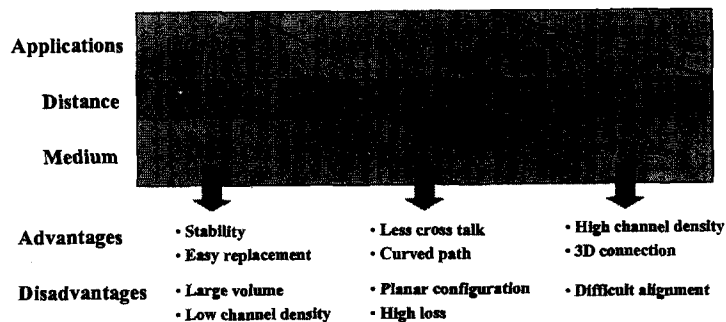
점-점(Point-to-Point) 병렬 광 상호연결이 전기적인 시스템에서 패키징과 관련된 한계성을 극복할 수 있는 가능성을 보여준 이후로, 광통신을 위하여 개발된 기술들을 광 상호연결에 적용하기 위한 연구들이 진행되고 있다. 초기 연구에

서는 채널 당 전송 대역폭 확대에 초점을 맞추었지만, 근래에 들어서는 채널 당 전송 대역폭을 확장하는 것보다 집적도를 높이고 패키징 비용을 줄이는 방향으로 전환되었다. 이런 결과로 현재 100미터 정도의 연결 거리에서 \$100/Gbps의 수준으로 광 상호연결 비용이 줄어들어 전기적 상호연결과 경쟁할 수 있는 상태로까지 발전하였다. 백플레인 버스와 같이 10미터 이내의 연결 거리에서는 아직도 전기적 상호연결에 비하여 경쟁력이 뒤져 있는 상황이다. 그러나 백플레인 버스 클럭 주파수가 GHz 정도의 수준으로 증가할 경우 상황은 많은 변화가 일어날 것으로 예상된다. 광연결은 광손실과 광분산이 문제가 되지 않을 정도의 짧은거리 데이터 전송을 의미하므로 장거리 광통신에 비해 광학적인 구성은 간단하다. <그림 2>는 광연결의 형태에 따른 각각의 응용과 장 단점을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 광섬유는 성능의 안정성 등으로 장거리 전송으로 많이 이용되고 있다. 또한 보드와 보드 사이의 신호 전달은 광도파로를 이용한 전송이 널리 이용되고 있다. 근래 칩 내 또는 칩간의 고속신호 전송에 자유공간을 이용한 신호 전송이 활발히 연구되고 있으나 LD와 PD간의 정렬 문제로 인해 실용화 단계는 시간이 많이 걸릴 것으로 예상되고 있다. 현재까지 연구된 광연결 동향은 그림과 같이 광 리본을 사용한 연결이 주가 됨을 알 수 있다.^[7]

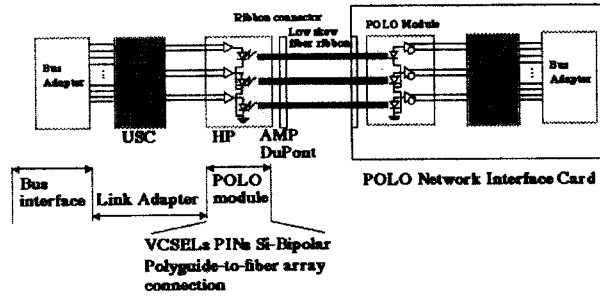
광섬유 리본을 이용한 광 상호연결에 관한 프로젝트는 미국의 OETC 프로그램, OptoBus 프

로그램, Jitney 프로그램, POLO 프로그램, 일본의 Real World 컴퓨터 프로그램 등이 대표적인 예이다. OETC 프로그램은 미국 DARPA 기관의 지원하에 GE, AT&T, IBM, Honeywell 등의 업체가 참가하였다. 프로그램의 목표는 광섬유 리본을 사용하여 민군 겸용으로 근거리 병렬 광 상호연결 모듈의 제작기술을 발전시키고 제작비용을 낮추어 동선을 사용한 전기적 상호연결을 대체하고자 하였다. 양방향으로 각각 32채널로 구성하여, 채널 당 500Mbps 전송속도를 구현하였다.^[8] POLO 프로그램은 1994년부터 1997년 말까지 DARPA의 지원아래 Agilent, AMP, 듀폰, USC가 컨소시엄을 구성하여 엔지니어링 워크스테이션, 멀티미디어 장비 및 초고속 스위칭 시스템의 통합을 위한 고성능 병렬 광연결 모듈의 단가를 낮추는 연구를 수행하였다. HP사는 VCSEL 어레이와 MSM (Metal-Semiconductor-Metal) PD 어레이, 듀폰과 AMP사는 폴리머 도파로와 광섬유 리본, USC 대학은 광 상호연결 모듈과 엔지니어링 워크스테이션 사이의 인터페이스 링크 어댑터 회로설계를 담당하였다.^[9]

위와 같은 장기간 많은 연구를 통하여 Siemens, Agilent, 및 OptoBahn 등은 병렬 광 상호연결 모듈을 상품화하였고, AMP는 병렬 광 상호연결 모듈에 적합한 광섬유 리본과 커넥터 등을 개발하여 상품화하였다. Siemens는 컴퓨터 링크와 네트워크 응용을 목적으로 PAROLI라는 점-점 병렬 광 상호연결 모듈을 1998년에 선보였다. 제



<그림 2> 광연결 형식, 응용분야 및 장단점

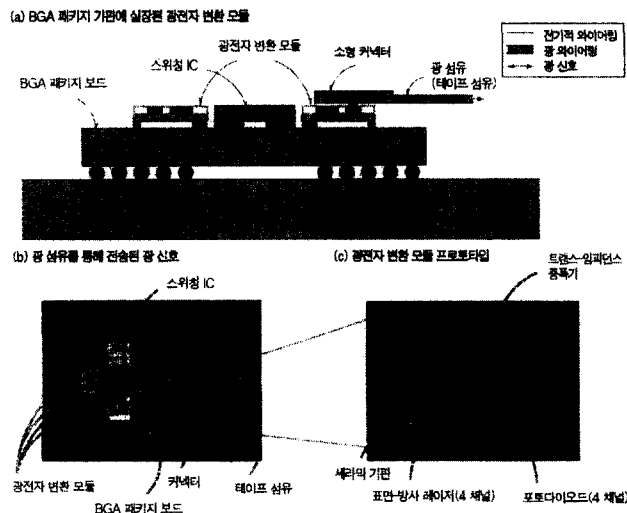


〈그림 3〉 POLO 프로그램의 병렬 광 상호연결

품의 특징은 전체 12채널로 구성하여 채널 당 1.25 Gbps 전송속도를 갖으며, SCI와 HIPPI 6400 표준규격에 부합되는 인터페이스를 채택하였다. Agilent는 독자적으로 SpectraLAN이라는 프로젝트를 수행하여 1997년 말경에 WDM 용 송수신 모듈을 개발하였다. 전체 4채널로 구성하여 채널 당 622 Mbps 전송속도로 직경 62.5 um 멀티모드 광섬유를 통하여 최대 500미터 거리까지 전송할 수 있도록 하였다.

일본 NEC는 고속 라우터와 스위치에서 스위칭 및 인터페이스 IC로 사용할 수 있는 광 접속 디바이스를 오는 2003년 출시할 계획이다. 한편 2002년 2월 개최된 ISSCC 2002 (International Solid-State Circuits Conference)에서는 ‘고

성능 마이크로프로세서를 위한 광 접속 솔루션이 언제쯤 출시될 것인가?’라는 주제로 패널 토의 하였다. 또한 광 섬유를 이용하여 칩을 연결시킬 수 있는 광 접속 시스템 관련 프로토타입을 마련해 놓고 있다. BGA (Ball-Grid Array) 패키지의 스위칭 IC (16×16 I/O 포트)는 다른 IC와 광 신호 통신이 가능하도록 4개의 광전자 변환 모듈로 구성된다. 〈그림 4 참조〉 광 전송 경로를 구성하는 광 섬유는 광전자 변환 모듈과 직접 연결된다. 스위칭 IC 포트에서 시그널 I/O는 광전자 변환 모듈과 광 섬유를 통해 처리한다. 광전자 변환 모듈의 프로토타입은 4채널 850 nm VCSEL과 포토다이오드로 구성된다. 채널 당 데이터 전송속도는 3.125 Gbps 수준이지만 앞으로는 모



〈그림 4〉 기존 PCB를 이용한 NEC 광연결 기술

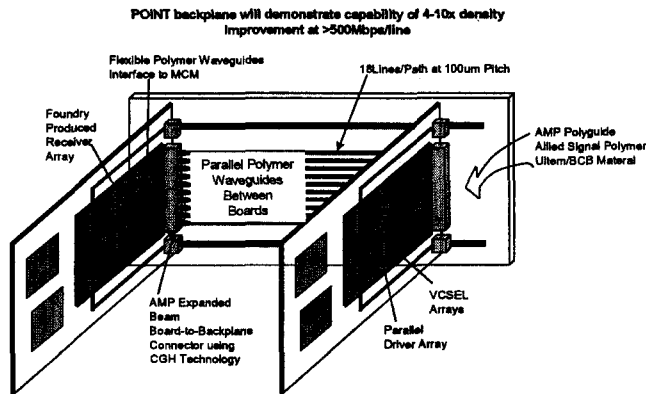
둘 포트 당 10Gbps 수준까지 개선시켜 64×64 채널 스위칭 IC를 지원할 수 있을 것이다. IC와 모듈을 연결해 주는 전송경로에 대한 I/O 신호 레벨은 낮은 진폭 변조를 활용한 LVDS(Low-Voltage Differential Signaling)의 새로운 버전으로 구성되고 있다. NEC는 길이 10mm 이하의 전자 회선을 사용하여 데이터 전송속도 10Gbps를 실현할 수 있을 것으로 전망하고 있다.

PCB(Printed Circuit Board) 제조업체들 또한 활발한 움직임을 보이고 있다. 일본 Aica Kogyo의 R&D 센터에서는 올해안에 광 접속 칩을 평가할 수 있는 광-전자 보드의 프로토타입을 발표할 예정이다. 광 접속 칩의 상용화는 아직도 2~3년의 시간이 더 필요할 것이다. 하지만 이번에 발표하는 프로토타입 보드는 이미 이를 시범 사용하고자 하는 고객들의 요구가 늘어나고 있다고 밝히고 있다.

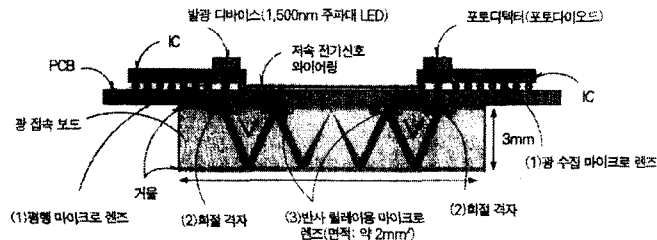
도파로를 이용하는 광 상호연결은 MCM(Multi-Chip Module), 보드, 및 백플레인과 같이 짧

은 거리에서 광섬유를 사용하는 대신에 폴리머와 같은 도파로를 통하여 빛을 전파시키는 방법이다. 대표적인 기존 연구 프로젝트는 1994년 12월부터 1997년 12월까지 진행된 미국의 POINT(Parallel Optical Link Organization) 프로그램이 있다. GE, Honeywell, AMP, Allied-Signal, Columbia, UCSD 등이 참가하여 DARPA 후원으로 폴리머 도파로를 사용하여 보드 및 백플레인에서 병렬 광 상호연결을 <그림 5>와 같이 구현하였다. 최종적인 연구 결과는 양방향 12채널로 구성하고, 전송속도는 각 채널 당 350Mbps, 최대 전송거리는 1미터 미만의 성능을 보이고 있다.^[10]

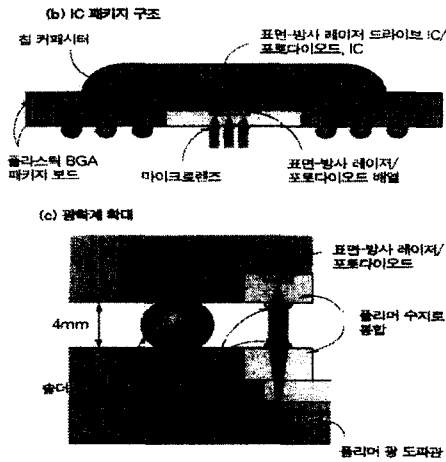
광 도파관 가격을 낮추기 위해 최근 과학자들은 폴리이미드(Polyimides), 에폭시(Epoxyes) 등과 같은 유기 물질의 활용 방안에 대해 적극 검토하고 있다. 유기성 광 도파관의 손실은 0.1에서 수 dB/cm 수준으로 상당히 높은 편이지만 PCB 상에서 단거리 광도파관으로 활용하기에는



<그림 5> POINT 프로그램에 의한 광연결 구조



<그림 6> OKI Electric에서 개발한 광접속 반사광 기술



〈그림 7〉 기존의 SMT시스템을 활용한 프로토타입 광연결기술

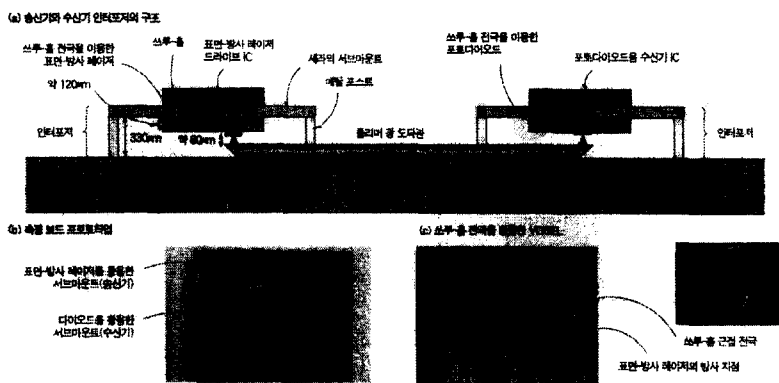
적합하다. 광 도파관 제품들은 필름 형성 프로세스에서 제조되어 해당 PCB에 부착된다. 또한 광 도파관 사이의 공간이 수십 μm 대로 좁아짐에 따라 혼선 문제가 발생하고 있다. 따라서 집적도가 상당히 높은 시스템에서는 PCB 보드에서 사용되는 것과 동일한 멀티-레이어 기술이 필요할 것으로 보인다.

ASEF (Association of Super-Advanced Electronics Technologies)에서는 렌즈를 전부 제거시켜 실장 부품 수를 줄일 수 있는 방안을 모색하고 있다. 〈그림 8〉에서와 같이 렌즈를 사용하지 않고 광 신호를 광 전송 경로로 주사시

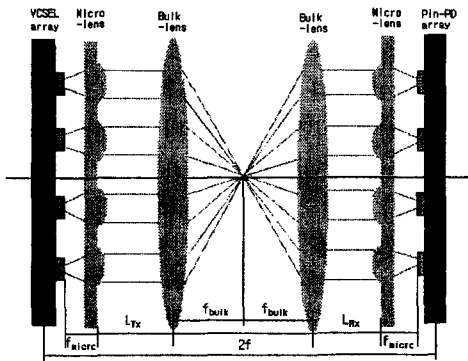
킬 수 있도록 하기 위해서는 인터포저 VCSEL과 광 도파관 사이의 간격을 약 $60\ \mu\text{m}$ 수준으로 좁혀 주어야 한다. 이러한 경우 NTT에서 채택하고 있는 자동 부품 실장기의 사용이 어렵겠지만 인덱스 마커 (Index Marker) 방법은 수동 배열 시 각 부품의 마커로 사용될 수 있다. 실장 허용오차 $\pm 5\ \mu\text{m}$ 수준을 유지할 수 있도록 해주는 인덱스 마커는 이미 통신용 광 트랜시버 모듈 제조 등과 같은 애플리케이션에 응용되고 있다. 향후 실장 비용을 더욱 절감시킬 수 있도록 ASET에서는 솔더 범프의 자가-배열 (Self-Aligning) 연결 방법을 활용하기 위해 인터포저에 관한 연구도 진행하고 있다. 자가-배열 기술은 포지셔닝을 위한 리플로우 공정에서 액화시킨 솔더 범프의 표면 강도를 이용한다.

보드간 자유공간 광 연결은 입력 데이터가 광 신호로 변환하여 자유공간 상을 전파하고 이후 수광 소자를 통해 다시 전기적인 데이터 신호로 바뀌게 된다. 〈그림 9〉는 4개의 렌즈를 이용한 4-focus 이미지를 이용한 4채널의 자유공간 광 연결 구조를 보여주고 있다.

보드간 자유공간 광 연결 구조는 광 송신 모듈, 광 수신 모듈, 마이크로 렌즈와 벌크 렌즈의 쌍으로 구성된 4-focus 이미지의 광 링크로 크게 세 부분으로 이루어진다. 광 송신기 모듈은 광원인 VCSEL 어레이와 이를 구동시키기 위한 송신회로, 광 수신 모듈은 수광 소자인 PD 어레이와



〈그림 8〉 반사 렌즈를 사용하지 않는 ASET기술



<그림 9> 4채널 자유공간 광 연결 구조.

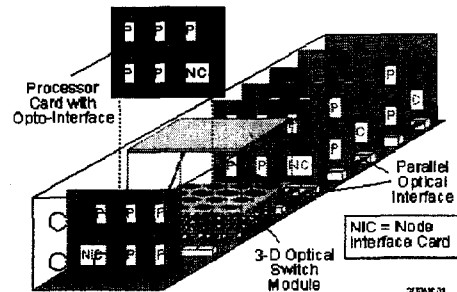
전류의 형태로 수광된 신호를 전압신호로 변환하고 증폭하며 디지털신호로 출력해 주는 수신회로, VCSEL에서 나온 빔의 채널간 누화를 최소화 시키고 원거리 전파를 시킬 수 있도록 평행광을 만들어주며 PD의 활성영역에 전파되어온 빔을 한곳으로 집중시켜 커플링 효율을 높이는 마이크로 렌즈와 수 cm 보드간 광 연결 이득을 얻기 위한 벌크 렌즈 부분으로 구성된다. 보드간 자유공간 광 연결의 핵심적인 문제는 많은 수의 빔을 수 μm 이내로의 정밀한 정렬과 패키징 기술이다. 실제로 이용되는 시스템일 경우는 이들 이외에도 빠른 정렬, 장시간 사용가능, 온도변화에 대한 보상, 외부 진동에 대한 영향을 줄이는 것 등이 필요하다. 또한 패키징은 저가이면서, 안정적이고 크기도 소형으로 제조되어야 한다. 그러나 아직까지 경제성을 갖고 실제적용 하기에는 어려운 상태로 보고되고 있다.

자유공간 병렬 광 상호연결 구조는 광섬유 리본을 사용한 광 상호연결에 비하여 전송 매체로 자유공간을 이용하고, 전송거리가 수십 cm 이내이며, 광소자가 2차원으로 집적된다는 사실로부터 기술적으로 많은 차이점을 갖게 된다. 자유공간 광 상호연결에서 주요 기술적 이슈는 주로 패키징과 수행 기능의 재구성 가능성 여부에 관련되어 있다. SEED(SELF-Electrooptic-Devices)와 EARS(Excitation Absorption-Reflection Switch)를 사용한 광 스위칭 네트워크가 비교적 간단히 패키징 되고 다이내믹한 스위칭을 할 수

있다. 그러나 기준 빔을 필요로 하기 때문에 부피가 커지는 단점이 있다. 따라서 근래에 들어서는 빛을 직접 변조할 수 있고, 광원의 문턱 전류가 수백 μA 이하로 떨어지게 되어 VCSEL과 같은 능동 광원을 사용하는 연구가 추세를 이루고 있다.

연구 동향을 살펴보면 현재 Honeywell의 VIVACE 프로그램, 유럽의 SPOEC 프로젝트 등과 같이 백플레인 적용 연구가 진행되고 있다. 미국 DARPA 후원으로 진행되고 있는 연구 중에서 자유공간 광 상호연결과 관련된 연구로서 FAST-NET(Free-space Accelerator for Switching Terabit NETWORKS), HOIT(Holographic Optical Interconnect Technology), FSOI Processor 등의 프로그램이 있다. VIVACE 프로그램은 3차원 자유공간 병렬 광 상호연결 기능을 사용하여 MPI 기반 멀티프로세서를 연동시킬 수 있는 컴퓨터 아키텍처를 설계하고 있다. 최종적으로 목표하는 구조는 <그림 10>과 같으며, 목표 성능은 채널을 32×32 어레이로 구성하여 테라비트 이상의 스위칭 용량을 갖는 백플레인 버스를 설계하는 것이다.^[11]

자유공간 광 상호연결의 단점은 송수신 광 경로를 정밀하게 정렬하는 것이 어렵고, 보드-보드 사이의 연결에 적용할 경우 유지 보수 하는 데 애로점이 있다. 현재의 패키징 기술로서는 위 그림 같이 고정된 광 인터페이스 보드를 별도로 두고 이들과 프로세서 보드가 전기적으로 체결되는 방법을 사용할 수 있다. 또 다른 대안으로 평판유리를 통한 보드사이의 연결이 있다.



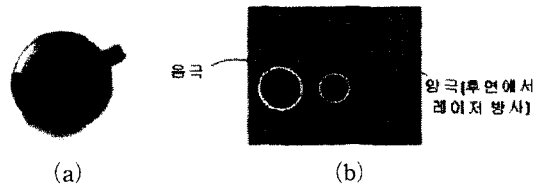
<그림 10> VIVACE 백플레인 예상 구조

Ⅲ. 광 송신 소자 및 OEIC 기술

스마트 픽셀에서 송신측 광 소자는 수동 변조기(modulator)와 능동 광원(emitter)이 있다. 1995년경까지는 수동 변조기에 대한 연구가 주로 이루어졌으며, 근래에 VCSEL 기술의 급격한 발전으로 능동 광원을 이용한 스마트 픽셀에 대한 연구가 주류를 이루고 있다. 수동 변조기를 이용한 스마트 픽셀은 근본적으로 전력 소모가 매우 작은 장점을 갖고 있지만 기준 빔 파장이 수동 변조기의 excitonic resonant peak에 잘 맞추어지도록 편광이 조절되어야 하므로 구현상 어려운 단점이 있다. 반면에 표면광 마이크로 레이저와 같은 능동 광원을 사용하는 경우, 기준 빔이 필요 없으며 또한 광원의 발진 파장은 광 검출기의 흡수 대역폭 범위 내에서 허용되므로 비교적 구현이 쉬운 장점을 갖고 있다.

표면광 마이크로 레이저는 반도체 다이오드 레이저의 전형적인 형태로서 더욱 중요성을 더해가고 있다. VCSEL의 공진기는 웨이퍼 면에 수직하게 놓이며 광 출력을 수직인 방향으로 유도한다. VCSEL은 측면광 레이저에 비하여 많은 장점을 갖고 있다. 공진기의 높은 반사율로 낮은 문턱전류로 레이저 발진이 가능하며 거울의 모양을 원형으로 제작할 경우 출력광 세기 분포를 원대칭적인 기본 모드로 발진이 가능하게 할 수 있다. 또한 광 출력이 웨이퍼와 수직인 방향으로 나와 광섬유와의 결합 효율을 향상시킬 수도 있다. VCSEL의 발진 원리는 굴절률이 다른 2개의 물질을 $\lambda/4$ 의 두께로 번갈아 가며 성장시킨 DBR(distributed bragg mirror) 구조에서 이루어지며, 일반적으로 VCSEL은 10 μm 정도의 직경과 6 μm 정도의 두께로 제작된다. 광 상호연결에 사용되는 VCSEL의 주요 사양은 문턱전류, 전광 변환효율, 파장 선폭 등이 해당된다.

관련 업계에서는 발광소자와 수신 디바이스를 실리콘 칩으로 통합하는 방안을 모색하고 있다. 이러한 통합 기술을 활용할 경우 부품 실장에 따른 문제점을 해소할 수 있게 될 것이다. 아울러



〈그림 11〉 VCSEL (a) 후지 제록스에서 개발한 850 nm 프로토타입 (b) NEC에서 개발한 1300 nm 프로토타입

소량 생산 및 높은 데이터 전송 속도를 유지할 수 있게 될 것이다. 하지만 문제는 이러한 디바이스 대부분이 GaAs와 InP 기판을 이용해서 제작되고 있기 때문에 IC에 사용되는 Si 기판과 함께 형성시키는 일은 매우 어려운 일이다. 모토로라는 현재 'GaAs on Si'으로 지칭되고 있는 기술 개발에 주력하고 있다. 이 기술은 표준 실리콘 웨이퍼 상에서 GaAs 디바이스를 생산해 낼 수 있도록 하는 것이다. Oki Electric은 먼저 서로 분리된 기판에서 IC와 에미터를 제조한 뒤 해당 기판을 직접 서로 결합시키는 방법을 개발했다. 통합된 InP on Silicon 상에서 만들어진 발광 프로토타입 제품들의 시험운용이 이미 이루어졌다. 접합 공정은 웨이퍼 단계에서 처리되기 때문에 이러한 기술은 플립 칩 실장보다 대량 생산 체제에 적합하다고 볼 수 있다.

또한 $\beta\text{-FeSi}_2$ (β -ironsilicide)로 지칭되는 새로 개발된 Si 기반 발광 소재에 대한 관심이 날로 고조되고 있다. 특히 인텔은 다른 업체들보다 높은 관심을 보이고 있다. $\beta\text{-FeSi}_2$ 소재는 적층적 방식으로 Si 기판 상에서 성장하기 때문에 CMOS IC로 발광 디바이스를 직접 제조할 수 있는 잠재성을 높여주고 있다. 만약 이러한 기술이 가능해 진다면 광 디바이스의 가격을 상당한 수준으로 하락시킬 수 있을 것이며, 동시에 디바이스 통합 또한 가능해 질 것이다.

광연결에 필요한 기본적인 OEIC는 LD driver와 Receiver 뿐이지만 광채널의 넓은 대역폭을 충분히 활용하기 위해서는 Tx에 Channel Encoder, PLL, Serializer, MUX 등을 포함하고 Rx에 Deserializer, Decoder, PLL 등을

포함하여 병렬 데이터 송수신이 가능한 IC가 많이 쓰일 것으로 예상된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 단거리 광연결에 관련된 기술동향과 OEIC, 광원 등에 관한 동향을 기술하였다. 광연결은 장거리 광통신과는 달리 근거리 두 지점을 상용 구리배선을 대신하여 효율적으로 연결하여 전기적 신호를 반도체 레이저 출력으로 변조하여 전송한다. 즉 새로운 기술이라기 보단 종래의 장거리 광통신 기술을 단거리에 적용시킨 것으로 앞으로 소자가 더욱 고속화 되어 동작주파수가 GHz 이상이 되면 광으로 전송하는 것이 더 효율적이 되어 보드와 보드 사이, 칩과 칩 사이 또는 칩 내에서도 채택될 전망이다. 기술개발에 따른 가격하락이 이루어진다면 일반수요자를 대상으로 많은 수요가 예상되고 있다. 현재 OEIC와 VCSEL 등이 집적화된 송수신 모듈이 시제품으로 개발되어 시험을 거치고 있다. 그러나 광을 이용한 시스템의 미세 정렬기술 등을 포함한 패키징 기술과 집적화 기술 등은 아직도 해결되어야 할 과제가 많이 있다.

참 고 문 헌

- [1] J. W. Goodman, F. J. Leonberge, S. Y. Kung and R. A. Athale, "Optical Interconnections for VLSI Systems" Proceedings of IEEE, vol.72, No.7, p850, 1984.
- [2] GHz급 초고속 전송을 위한 저가격, 고성능 광솔루션 개발동향, Nikkei Electronics Asia, Feb.2002.
- [3] H. J. Yoo, J. R. Hayes, N. Andreadakis, E. G. Paek, G. K. Chang, J. P. Harbinson, L. T. Floez and Y. S. Kwon, "Low series resistance vertical cavity front surface emitting laser diode(FSEL)" Appl. Phys. Lett., vol. 56, pp.1942-1944, May 1990
- [4] "Lighting the way in computer design", circuit and devices, p23, 1998
- [5] D. R. Engebetsen, D. M. Kuchta, R. C. Booth, J. D. Crow and W. G. Nation, "Parallel Fiber-optic SCI Links", IEEE Micro, p20, 1996
- [6] 이왕주 외 5인, "Low Cost CMOS IC in Optical Interconnections", Photonics Conference 2000, pp.387-391, 2000
- [7] 한국전자통신연구원 위탁과제 최종연구보고서, "자유공간 광연결을 이용한 ATM Backplane bus기능시험에 관한 연구", 2000.
- [8] B. K. Whitlock, et. Al., "Computer Modeling and Simulation of the Optoelectronic Technology Consortium(OETC) Optical Bus", IEEE J. on Selected Areas in Comm., Vol. 15, No. 4, 1997.
- [9] http://www.usc.edu/dept/engineering/eleceng/Adv_Network_Tech/Html/pol.html
- [10] "Optical Interconnects for Data Communication Between Boards, Backplanes, and Intra-Boxes", IEEE Circuits & Devices, 1998.
- [11] Wysiwyg://27/http://www.htc.honeywell.com/photonics/vlsi.html

저자 소개



朴鍾大

1987년: 영남대학교 전자공학과 학사, 1989년: 영남대학교 대학원 전자공학과 석사, 1994년: 영남대학교 대학원 전자공학과 박사, 1995년~1996년: Toyohashi Univ. of Technology Post

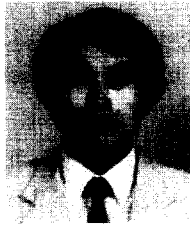
Doctor, 1997년~현재: 한국전자통신연구원 네트워크기술 연구소 선임연구원, <주관심 분야: VLSI Design, Signal Integrity, Optical Interconnection>



南相植

1981년: 단국대학교 전자공학과 학사, 1983년: 단국대학교 전자공학과 석사, 1999년: 단국대학교 전자공학과 박사, 1985년~현재: 한국전자통신연구원 네트워크기술 연구소 ACE시스템팀장,

책임연구원, <주관심 분야: ATM Technology, NGN, Signal Integrity>



李在起

1985년: 서울산업대학교 전자공학과 학사, 1989년: 청주대학교 전자공학과 석사, 2002년~현재: 공주대학교 전기전자정보통신공학과 박사과정 재학중, 1983년~현재: 한국전자통신연구원

네트워크기술 연구소 책임연구원, <주관심 분야: 소프트웨어 신뢰도, 품질평가>