

초고속 대용량 광통신을 위한 광집적 소자 기술 동향

Technical Trends of Photonic Integrated Circuits for High Speed,
High Capacity Optical Communication

융합기술시대의 ICT 부품 연구동향 특집

백용순 (Y. S. Baek) 광스위칭기술팀 팀장

목 차

-
- I. 서론
 - II. 하이브리드 집적 기술
 - III. 모놀리식 집적 기술
 - IV. 결론

인터넷의 보급과 더불어 폭발적으로 늘어나기 시작한 데이터 통신은 FTTH의 보급과 IPTV, VoD 등 본격적인 멀티미디어 수요의 증가에 따라 매 18개월마다 통신량이 2배 씩 증가하는 “광 무어의 법칙”이 성립되고 있다[1]. 지속적인 대역폭의 증가를 수용하기 위해서는 핵심 광부품의 소형화 및 저가화가 반드시 필요하며 이러한 요구사항 수용을 위한 핵심요소는 광집적화 기술 개발을 통한 광소자의 고집적화 및 고속화 달성이다. 광집적화 기술은 크게 두 가지 분류로 나눌 수 있는데 이중 물질간의 하이브리드 결합에 의한 구현과 단일 혹은 유사 물질에 의한 모놀리식 집적에 의한 방법이다. 본 고에서는 하이브리드 집적 및 모놀리식 집적 기술의 핵심 요소 및 기술발전 현황에 대해 살펴본다.

I. 서론

집적회로(IC) 기술이란 공통 기판 상에 많은 수의 개별 소자를 배열하고 연결하여 특정 기능을 수행할 수 있는 소형 회로를 만드는 기술이다. 이러한 집적회로 기술은 전자회로에서는 이미 보편화된 기술로 그 발전 속도는 소위 '무어의 법칙'이라고 불리며 매 18개월마다 2배씩의 집적도 향상이 이루어지고 있다. 집적회로 기술의 획기적 발전에 따라 전자 제품은 해마다 새로운 기능을 추가하면서도 저가화, 소형화가 이루어지고 있다. 일례로 1951년에 개발된 UNIVAC 컴퓨터의 경우 13톤의 무게와 35.5m² 이상의 면적을 차지하지만, CPU 클럭의 속도는 2.25 MHz에 불과하나[2] 오늘날 개인용 PC의 경우 휴대가 가능한 랩톱 컴퓨터의 경우에도 이보다 1000배 이상의 CPU 클럭 속도를 보유하며 다양한 기능을 보유할 수 있는 이유는 바로 집적 기술의 발전에 기인한다.

이러한 전자집적회로 기술과 대비하여 광집적회로(PIC) 기술의 개념 생성도 이미 1960년대로 거슬러 올라간다[2]. 하지만 전자집적회로 기술에 비해 광집적회로 기술은 비교적 더딘 발전을 진행해 왔으나 2000년대 들어 리소그래피 기술과 식각 기술의 발전에 따라 광집적회로 기술도 비로서 빠르게 발전하기 시작하고 있다.

이러한 광집적회로 기술의 더딘 발전은 전자집적회로 기술과의 근본적인 차이에 기인한다. 전자집적회로 기술의 경우 공통 기판 위에 비교적 적은 수의 핵심 소자(즉, 트랜지스터, 저항, 커패시터)로만 많은 종류의 기능 구현이 가능하며 이를 이용하여 많은 수의 응용소자의 구현이 가능하다. 그리고 이를 바탕으로 광대한 시장 접근이 가능하여 대규모 투자가 가능한 반면 광집적회로 기술의 경우에는 많은 수의 핵심 소자를 필요로 하며 또한 핵심소자의 구현 원리도 다양하다. 광소자의 경우 커플러, 필터, 다중화기(multiplexer), 광원, 검출기, 스위치, 변조기 등 다양한 기본 소자들이 존재하며 각 핵심소자

의 구현원리 또한 다양하다. 따라서 전자집적회로의 경우보다 집적 기술의 확보가 훨씬 어려우며 집적화를 통해 구현가능한 응용소자 수도 전자소자만큼 다양하지 못하다. 또한 광을 매개체로 이용하는 광소자의 특성상 소자 소형화에 있어 물리적인 한계를 가진다. 따라서 광집적회로 구현 성공의 핵심은 이러한 다양한 핵심 소자의 효율적 집적 방법을 개발하는 것이다.

광집적회로를 구현하는 방식은 현재까지 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫번째는 이종의 물질을 이용하여 필요한 기능을 구현하는 방법이다. 앞서 말한 바와 같이 광집적회로의 구현을 위해서는 다양한 기본 소자가 필요하다. 그런데 각 기본 소자의 기능 최적화를 위해서는 서로 다른 물질을 이용해 그 기능을 최적화하는 것이 성능 구현에 가장 유리한 경우가 있으며 이를 위해 하이브리드 집적 기술이 자연스럽게 발생되었다. 하이브리드 집적 기술은 일반적으로 평면 광회로(PLC) 기술이라고도 불리는 실리콘 기판상에 저손실 실리콘 도파로를 플랫폼으로 이용하고 반도체 광원 또는 수신기를 플립 칩 본딩 방법으로 집적하는 것이다. 이러한 하이브리드 집적 기술은 각 핵심소자마다 기능구현을 위한 최적화가 가능하여 전체소자의 성능을 향상시킬 수 있다는 장점을 가지고 있으나 이종 물질간의 집적 기술 확보 및 상대적으로 큰 집적회로의 크기 등의 문제점들을 해결해야 하는 숙제를 가지고 있다. 두번째는 모놀리식 집적 기술로 이는 하나의 공통 물질 또는 유사 물질을 이용하여 핵심소자 기술을 구성하여 전체 광집적회로를 구현하는 방법이다. 이러한 모놀리식 집적 기술은 저전력 소모, 고집적화, 대량생산의 용이성 등의 장점을 가지고 있으나 각 핵심소자별 최적화가 어려우며 집적소자 구현의 기술적 난이도 및 수율 확보 등에 어려움을 가지고 있다.

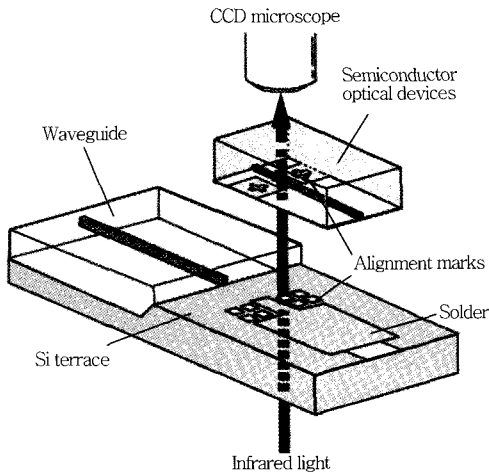
본 고에서는 하이브리드 집적 기술과 모놀리식 집적 기술의 핵심 요소 및 기술발전 현황에 대해 살펴본다.

II. 하이브리드 집적 기술

하이브리드 집적 기술은 일반적으로 이종의 물질로 이루어진 구성 소자들을 결합시키는 패키징 기술이다. 초기 하이브리드 집적 기술은 실리콘 기판상에 식각 등의 기술을 이용하여 SiO₂를 구성하고 그 위에 필요한 개별 소자를 배열하고 광섬유를 연결하는 소자를 만들었으나 현재는 일부의 구성소자는 실리콘 기판상에 실리카 또는 폴리머를 이용한 플랫폼상에 직접 만들어지고 다른 구성소자는 주로 InP를 이용한 반도체 소자가 독립적으로 제작되어 적절한 결합 방법을 이용하여 집적회로를 구성하는 방법을 주로 말한다.

하이브리드 집적의 장점은 이종의 물질을 이용한 각 개별 구성소자의 최적화 및 성능 확인이 사전에 가능하다는 점이다. 이는 최종 결합 소자의 성능 향상 및 수율 향상을 가져 온다. 반면에 서로 다른 이종의 물질을 기반으로 개별소자가 제작되므로 플랫폼과 개별 소자간의 광학적, 전기적 결합의 최적화를 필요로 한다.

하이브리드 집적 광소자 제작을 위해서는 일반적으로 PLC 기판이라고 불리는 플랫폼 제작이 필요하다. PLC 플랫폼은 앞서 기술한대로 일반적으로 실리콘 기판 위에 실리카(SiO₂), 폴리머, SiON 등의 물질을 이용하여 필요한 수동 도파로 또는 수동 소자를



(그림 1) 플립칩 본딩을 이용한 하이브리드 집적 방법

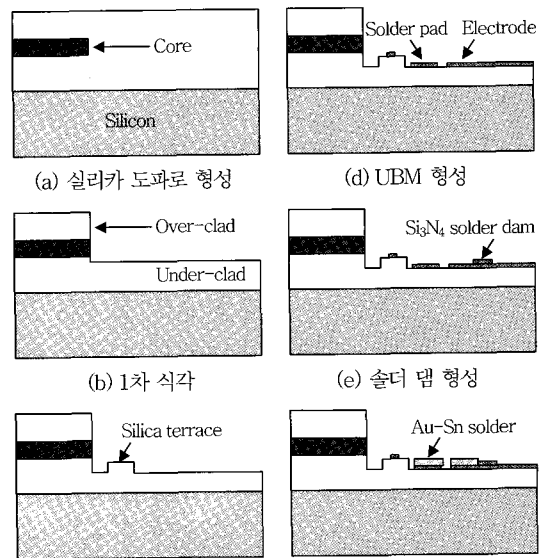
제작한다. 이들 PLC 플랫폼이 가져야 하는 가장 중요한 특성은 저손실 도파로의 구현과 이종의 물질로 이루어진 다른 소자와의 결합 구조의 형성이다.

하이브리드 집적에서 구성 소자간의 결합에 가장 많이 이용되는 방법은 플립칩 본딩을 이용한 수동 정렬 방법이다. 플립칩 본딩이란 (그림 1)에서와 같이 실리카 또는 폴리머 수동 소자로 이루어진 기판상에 반도체 광소자를 뒤집어 붙이는 방법을 말한다.

플립칩 본딩 방법을 이용하면 구성 소자간의 광 결합 및 전기적 결합을 수동 정렬을 통해 구현 가능하기 때문에 대량 생산을 통한 저가화 구현이 가능하다. 일반적인 광부품 제작시 외부의 광 주입이나 구성 발광 소자에 전류 주입을 통해 생성된 광을 이용하여 소자간의 정렬도를 확인하지만 수동 정렬의 경우 정렬 장비의 정밀도만을 이용해 정렬하는 방법을 말한다.

이를 위해서는 플립칩 본딩을 위한 PLC 플랫폼의 설계 및 준비 작업이 매우 중요하다. (그림 2)는 ETRI에서 개발된 능동소자와의 수동정렬을 구현하기 위한 플랫폼 제작 방법을 도시한다[3].

먼저 능동소자의 수직정렬을 돕기 위한 테라스 형성을 위해 PLC 기판을 식각한 후 PLC 플랫폼과



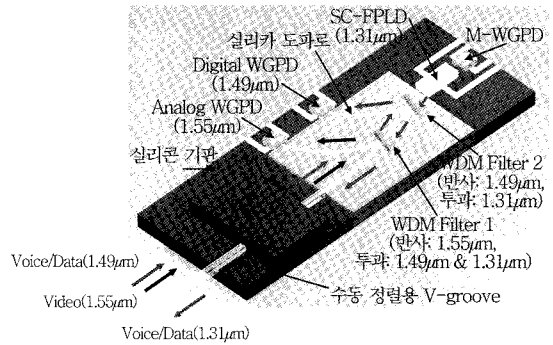
(그림 2) 플립칩 본딩을 위한 PLC 플랫폼 준비 과정도

능동소자와의 플립칩 본딩을 위한 솔더 형성을 위해 테라스 영역을 제외한 PLC 영역의 2차 식각이 진행된다. 식각된 PLC 플랫폼 위에 플립칩 본딩을 위한 UBM 메탈 작업 및 솔더 증착 작업이 완료된 후 플립 본딩 작업이 수행된다. 이때 현미경에 의한 수동 정렬만 이루어질 뿐 정렬되는 광소자의 결합 효율은 모니터되지 않는다. 위와 같은 방법을 통해 일반적으로 수평 방향으로 $\pm 2\mu\text{m}$ 내외, 수직 방향으로 $\pm 0.5\mu\text{m}$ 내외의 정밀도로 소자 장착이 가능하다.

PLC 플랫폼과의 정렬을 위해 메탈 작업이 이루어진 능동소자와 PLC 플랫폼 사이에 위에 기술한 정밀도로 좋은 결합이 이루어지더라도 광결합 손실을 최소화하기 위해서는 PLC 플랫폼상의 수동도파로와 수동 정렬되는 반도체 광도파로 사이의 광모드 크기의 조정이 필수적이다.

광도파로에서 굴절률 대비값 Δ 는 코어 굴절률과 클래드 굴절률의 차이를 코어 굴절률로 나눈 값으로 정의된다. 일반적으로 실리카 수동도파로는 0.3~0.75 정도의 굴절률 대비값을 가지고 있다. 이러한 실리카 도파로는 외부 광섬유와는 낮은 결합 손실을 보이고 낮은 도파 손실을 가지게 되나 반면 반도체 도파로의 경우 비교적 높은 굴절률 대비값으로 실리카 도파로에 비해 현저히 작은 모드 크기를 가지게 된다. 이러한 이유로 하이브리드 집적을 위한 반도체 광소자는 모드 크기 변환기가 집적되어 모드 크기를 키워 PLC 도파로와의 결합 손실을 줄이게 된다. 그러나 이러한 모드크기 변환기의 집적은 개별 소자 특성 및 수율에 영향을 주게 되어 가격 상승 요인이 되고 모드크기 변환기를 집적한 경우에도 소자간 결합손실은 3dB 내외의 비교적 큰 손실값을 가진다.

최근에는 하이브리드 집적 소자의 경우에도 집적도 향상을 위해 고굴절률 대비값(1.5~2.5)을 가진 PLC 도파로를 사용하는 경우가 늘고 있다. 고굴절률 대비 도파로를 사용할 경우 광도파로의 곡률반경을 작게 할 수 있어 소자 크기를 줄일 수 있는 이점이 있는 반면 도파로의 진행 손실이 증가하게 되고 또한 광섬유와의 결합 효율도 떨어지게 된다. 그러



(그림 3) 하이브리드 집적을 이용한 PLC 기반의 Triplexer 구성도

나 고굴절률 대비 실리카, 폴리머, SiON 기반의 PLC 도파로 제작 기술이 계속 발전하고 있어 하이브리드 집적 소자가 가지고 있는 집적도 부분에서의 문제를 해결하고 있다.

이러한 하이브리드 광소자 제작은 일본의 NTT, 영국의 CIP 등에서 앞선 기술을 보유하고 있으며 ETRI에서도 하이브리드 집적 기술을 이용하여 다양한 소자들을 개발하고 있다.

(그림 3)은 플립칩 본딩 기술을 이용한 E-PON 용 triplexer 구성도이다. Triplexer란 FTTH 시스템 구축시 가입자용 광트랜시버로 1.3μm 대역의 업로드용 송신기와 1.49μm 대역의 디지털 신호 수신기, 1.55μm 대역의 아날로그 방송 수신기가 결합된 구조이다. 이와 같이 하이브리드 집적 기술을 이용하면 기존 개별 소자의 TO 패키징 및 각 TO 간의 능동 정렬을 통한 triplexer 구성보다 패키징 시간과 비용을 절감할 수 있다. 그러나 플립칩 본딩은 고도의 정밀도를 요하는 고가의 장비를 필요로 하기 때문에 대량 생산의 전제가 필수적이다.

한편 CIP에서는 하이브리드 집적을 위한 복잡한 공정없이 수동 정렬하는 방법을 개발하였다. 이 방법은 실리кон 도터보드(daughterboard)에 각 개별소자를 부착시킨 후에 실리카 기반의 마더보드(motherboard)에 고정밀도로 삽입하는 방식이다. 이러한 방식을 이용하여 패킷 스위칭 또는 신호 재생 용도의 복잡한 구조의 광소자를 성공적으로 제작하였다(그림 4) 참조[4].

이 밖에도 하이브리드 집적 기술은 실리카 도파로와 LiNbO₃ 도파로간의 결합, MEMS, LCoS 등의 벌크 광학 소자와의 결합, 실리콘 도파로와 InP 광원의 결합 등 다양한 방식으로 발전하고 있다. (그림 5)는 하이브리드 집적을 이용한 다양한 소자 개발 전망을 나타내고 있다. 특히 최근에는 초고속 신호 전송을 위한 DQPSK, PD-QPSK 등의 복잡한 변조 방식의 수용을 위한 광송신기 제작 및 코히어런트 신호 검출을 위한 편광 분리기, 옵티컬 하이브리드

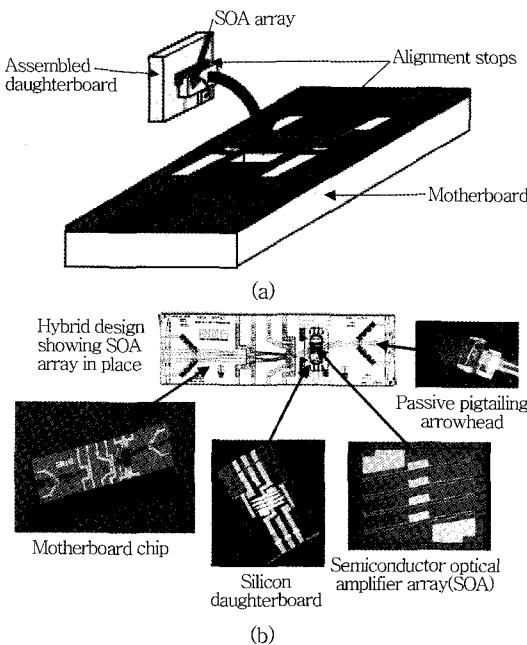
등이 집적된 수신기 제작 등에 하이브리드 집적 기술 적용에 관한 연구가 활발히 진행중이다.

Ⅲ. 모놀리식 집적 기술

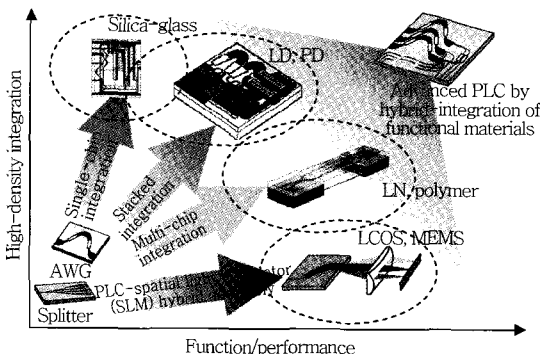
모놀리식 집적 기술은 동일 또는 호환 가능한 유사 물질을 이용하여 동일기판 내에서 필요한 여러 가지 부분 소자들을 집적하여 만든다. 모놀리식 집적은 공정 단순화와 높은 집적도를 구현할 수 있는 기술이지만 동일기판에 개별 소자의 기능을 구현해야 하므로 구현 가능한 소자에 제한이 있는 단점이 있다. 또한 동일 혹은 유사 물질로 모든 구성 소자의 제작이 이루어지기 때문에 개별 구성 소자가 최적화되기 어렵다. 모놀리식 집적에서 가장 중요한 부분은 각각의 개별 구성소자가 모두 할당된 동작을 수행하여야 한다. 만약 하나의 구성소자라도 동작되지 않으면 전체 소자의 동작 불능으로 이어지기 때문에 모놀리식 소자의 수율은 일반적으로 구성소자 수에 반비례하게 된다. 따라서 모놀리식 집적 기술은 고도의 공정 기술과 모니터링 기술을 필요로 한다.

현재 모놀리식 집적을 이용한 소자는 구성소자 개수 및 집적도가 한정된 상태로 공정기술의 발전에 따라 점차 구성소자 개수 및 집적도가 늘어나고 있다. (그림 6)은 기술발전에 따른 모놀리식 집적소자의 집적도 발전을 나타낸다.

모놀리식 집적을 위한 핵심 기술은 수동 도파로

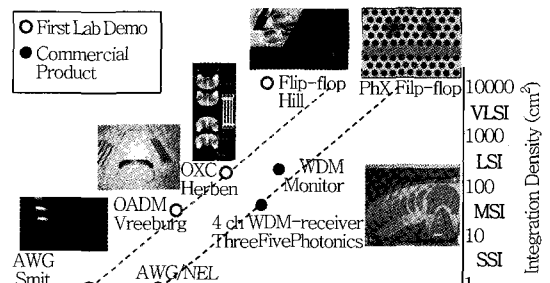


(그림 4) CIP의 하이브리드 집적소자 구성도(a) 및 실제 개별 부품 사진(b)



<자료>: NTT

(그림 5) 하이브리드 집적소자의 발전 전망



<자료>: CORBA

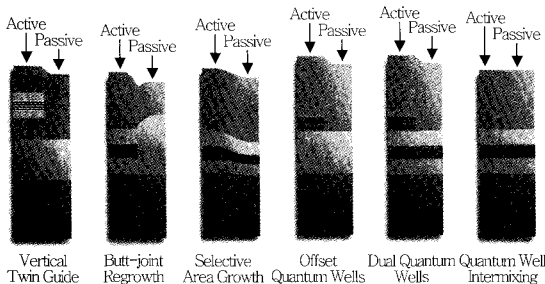
(그림 6) 광집적회로 소자의 연대에 따른 집적도 변화 (회색 선: 실험실 최초 구현 소자, 검은색 선: 상용 소자)

와 능동 도파로와의 집적 구도에 있다. 반도체 소자에서 능동 도파로와 수동 도파로는 서로 다른 밴드갭을 가지도록 구성되어야 하는데 이를 구성하는 방법은 다음 몇 가지로 이루어진다.

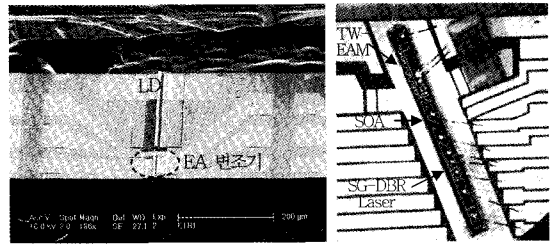
- 1) Butt-joint regrowth: 먼저 능동층을 성장한 뒤 수동층 형성이 필요한 부분을 식각한 후 재성장하는 방법
- 2) Selective area growth: 밴드갭 조절이 필요한 부분의 주변에 마스크를 형성하여 성장 속도 조절에 따라 필요 부분의 밴드갭을 조절하는 방법
- 3) Quantum well intermixing: 성장된 양자우물에 절연막을 씌우고 열처리를 통해 특정부분의 밴드갭을 조절하는 방법
- 4) Offset quantum well: 수동도파로층 위에 얇은층의 활성 양자 우물층을 형성하여 능동, 수동 결합을 구현하는 방법
- 5) Vertical twin guide: 상하 도파로간의 간섭을 통해 능동, 수동 도파로간의 광파워를 전이하는 방법

(그림 7)은 이의 각 방법을 통해 형성되는 능동, 수동 도파로 결합 부분의 단면을 나타낸다. 위의 방법 가운데 주변 결합 소자 및 소자 전체의 특성을 고려하여 알맞은 결합 방법을 선택하게 되는데 이 때 가장 중요한 것은 능동, 수동 결합 단면의 에피 특성과 경계면에서의 반사 및 손실을 최소화 할 수 있도록 공정 방법을 선택하는 것이다.

현재까지 구현된 모놀리식 집적 소자 중 가장 성



(그림 7) 능동 도파로와 수동 도파로의 결합 방법에 따른 단면 구조도

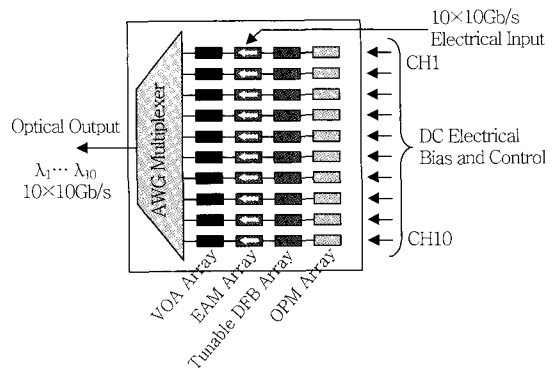


(a) EML (b) SGDBR
(그림 8) 모놀리식 집적 기술을 이용한 광원

공적인 소자는 DFB 레이저와 EA 변조기가 단일집적된 EML 소자이다. 기술의 발전에 따라 더욱 집적도가 높은 모놀리식 집적 소자들이 속속 출현하고 있는데 파장 가변 광원, 다채널 레이저, 파장 변환기 및 파장 선택기 등의 소자가 모놀리식 집적 기술을 통해 구현되었다[5].

(그림 8)은 단일파장 생성용 EML(a)과 EA 변조기 집적형 Sampled Grating DBR 파장 가변 레이저로(b) 광변조를 위한 electro-absorption 영역, 광증폭을 위한 SOA 영역, sampled grating이 형성된 수동 영역 및 레이저 구성을 위한 활성 영역 등이 집적되어 있다.

한편 Infinera는 현재까지 제작된 InP 기반의 모놀리식 집적소자 중 최고의 집적도를 가진 상용 소자 제작에 성공하였다[6]. LSPIC로 불리는 기술을 이용하여 (그림 9)에서와 같이 단일 InP 기판 위에 10채널의 모니터 PD, DFB 레이저, EA 변조기, VOA 어레이가 AWG로 묶이는 대용량 광송수신 소자를 개발하였다. (그림 10)은 제작된 100G급 광송신기 모듈의 사진이다. 그림에서 보듯이 단일집적



(그림 9) Infinera 10x10G 광송신기 구조도

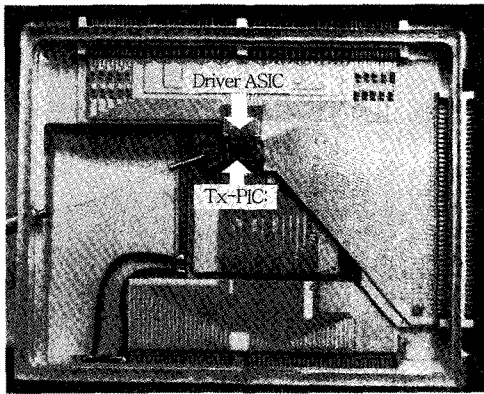
기술을 통한 소자 소형화가 구현이 얼마나 극단적인지를 보여주고 있다.

Infinera는 이를 바탕으로 DTN 시스템을 구축하여 5000만 시간 이상의 운용 실적을 진행 중이다. 현재는 40G급의 EA 변조기 또는 MZ 변조기 40채널을 집적하여 1.6T급의 광 송수기를 개발하고 있다.

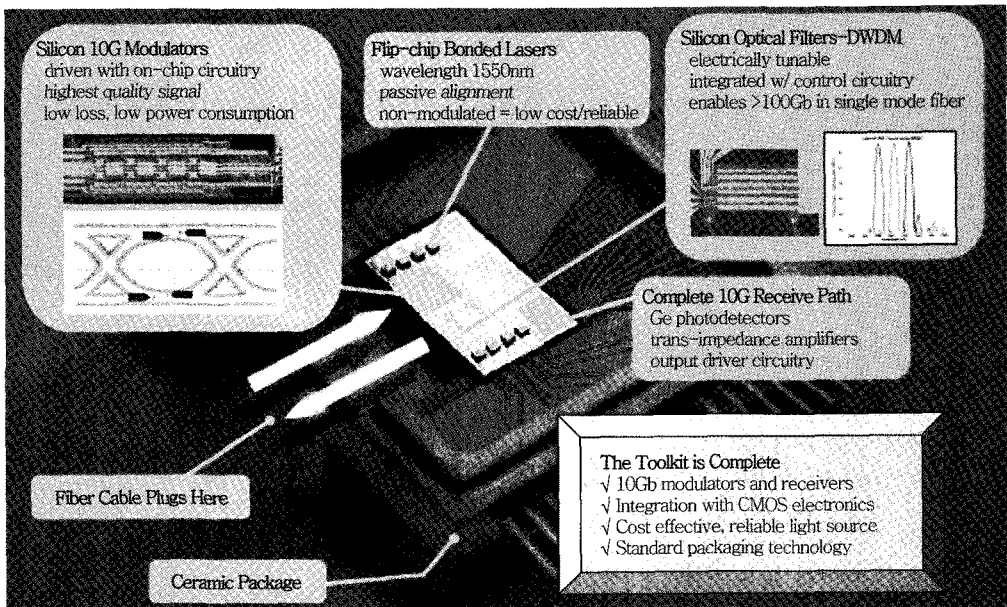
이렇듯 모놀리식 광소자의 집적도는 갈수록 향상되고 있으며 집적도를 더욱 높이기 위한 기술들이 활발하게 연구되고 있다. 집적도를 높이기 위한 기술은 주로 수동도파로 영역의 곡률 반경을 작게 하

는 것이 필요한데 이는 깊은 식각을 이용하여 도파로와 클래드간의 굴절률 차이를 높여 집적도를 향상시키는 방법이 사용된다. 높은 굴절률 차이를 이용하는 도파로의 경우 광모드가 도파로 측면의 거칠기로 인하여 큰 도파로 손실이 발생하기도 하며 또한 광섬유 및 기타 능동소자와의 모드 크기 불일치로 인한 반사 또는 손실 발생에 주의해야 한다. 또한 포토닉 밴드갭을 이용하여 초소형 소자를 만드는 기술도 활발히 연구 중이다. 한편 능동 소자에서는 공진 현상을 이용하여 소자의 유효 길이를 증가시키는 방법을 이용하여 소자의 크기를 줄이는 방법이 시도되고 있다[7]. 이러한 노력을 통해 광집적회로 소자는 보다 작은 크기로 발전하고 있다.

한편 실리콘 기반을 이용한 광집적소자의 개발도 활기를 띠고 있다. 실리콘은 광원 소자 개발의 어려움으로 통신용 광소자 개발에 대한 연구가 활발하지 않았으나 전송대역에서의 실리콘의 낮은 손실과 실리콘 기반의 전자집적회로 기술을 바탕으로 CMOS 공정에 대응 가능한 전자회로 집적 가능성으로 실리콘을 이용한 광집적회로 기술은 비약적으로 발전하고 있다. Intel, Luxtera 등이 뛰어난 연구 결과를 보이고



(그림 10) Infinera 100G 광송신기 모듈 사진



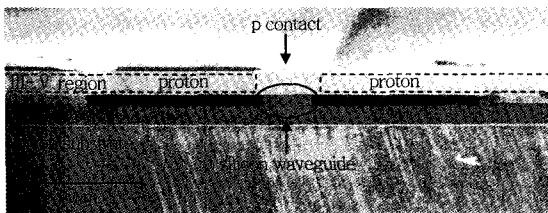
(그림 11) Luxtera의 4x10G 광트랜시버 모듈

있다. 실리콘 기반의 광집적회로는 실리콘 내부에 산화막을 형성하여 산화막 위에 실리콘(SiO₂)을 이용한 서브마이크론 도파로 제작에 의한 초소형 소자 제작이 가능한 장점이 있다. 현재 이러한 SOI 도파로를 이용하여 수동소자뿐 아니라 변조기 및 광검출기까지 단일 집적된 소자의 개발이 이루어지고 있다.

(그림 11)은 Luxtera에서 개발한 40Gbps(10 Gbps×4채널)의 광송수신기로 단일 실리콘 기판에 WDM mux/demux, 변조기 등의 광소자뿐 아니라 변조기 드라이버, 광검출신호 증폭기 등의 전자소자가 함께 집적되어 있다. 이러한 기술을 바탕으로 Luxtera는 단거리용(~300m) 40G급 능동광케이블을 출시하고 있다.

실리콘 광소자의 가장 큰 약점인 광원의 부재를 해결하기 위해 여러 가지 방법이 도입되고 있다. 외부 펌핑을 이용한 라만 레이저 구현 방법, 외부 광소스를 이용하여 회절격자 결합을 이용하는 방법, InP 기반의 능동층을 웨이퍼 본딩 기술을 이용하여 모놀리식하게 부착하는 방법, 그리고 플립칩 본딩을 이용하여 직접 결합하는 방법 등이 구현되고 있다. (그림 12)는 SOI 도파로 위에 InP 활성층 기판을 웨이퍼 본딩하여 전류 주입을 통해 광원을 구현한 UCSB의 연구 결과를 보이고 있다[8].

지금까지 광집적회로 기술로 하이브리드 집적 기



(그림 12) 실리콘 도파로와 InP 활성층의 웨이퍼 본딩에 의한 광원 구현 방법

술과 모놀리식 집적 기술에 대해 살펴보았다. <표 1>은 각 방식의 장단점을 나타내었다.

광집적회로 기술은 비약적인 발전을 거듭하고 있지만 다음과 같은 문제점을 해결해야 한다. 먼저 광소자 개발의 난이도로 인해 현재까지 보편화된 광소자 공정표준이 존재하지 않는다. 또한 소형화된 광소자와 전송매체인 광섬유간의 모드 불일치로 인한 손실, 소형 광도파로에서 흔히 발생하는 큰 손실, 사용과장보다 작아질 수 없는 근본적인 물리적 특성에 기인한 광소자 집적도의 한계 등이다. 하지만 광소자는 전자소자에 비해 엄청난 대역폭을 가지고 있기 때문에 광집적을 통한 용량 증가는 전자회로 대비 집적도가 떨어지더라도 그 파괴력이 매우 크다.

IV. 결론

앞에서 살펴본 바와 같이 광집적회로 구현을 통해 초고속 대용량 광소자를 초소형으로 구현할 수 있다. 이러한 고집적, 소형화는 대용량 전송 문제 해결뿐 아니라 소형화에 따른 전력 소모의 감소로 이산화탄소 발생 억제를 통한 그린 IT 구현에 이바지할 수 있다.

일반적인 광통신 소자 발전 방향은 개별 소자 제작에서 하이브리드 집적 소자, 그리고 궁극적으로는 모놀리식 집적 소자로의 발전이 전망되고 있다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 광소자가 가지는 다양성 및 개별소자의 최적화의 필요성 때문에 오랜기간 동안 하이브리드 집적 기술이 병행될 것으로 예측된다. 또한 단일집적의 경우에도 그 기반물질이 InP가 될 것인지, Si이 될 것인지에 대한 논란도 뜨거울 전망이다[9].

<표 1> 하이브리드 집적과 모놀리식 집적 기술 비교

	능동소자	수동소자	소자간 연결	광섬유와의 연결	크기
하이브리드 집적 소자	최적화된 개별 능동 소자 제작 가능	낮은 손실, 낮은 분산값, 온도 의존성 낮음	수동 정렬에 의한 비교적 큰 손실	광섬유와의 결합이 비교적 용이함	상대적으로 큼
모놀리식 집적 소자	능동소자 기반	높은 손실 (필요시 SOA 집적)	모드 크기 조정 필요 (구조에 따라 편차 큼)	모드 크기 변환기 필요 (비교적 큰 손실)	매우 작음

● 용어해설 ●

PLC(Planar Lightwave Circuits): 일반적으로 실리카 기판 위에 SiO₂ 또는 폴리머를 이용하여 특정 기능(분기, 필터링 등)을 수행할 수 있도록 광도파로를 이용하여 광경로를 구성하는 소자를 전자회로에 대비하여 PLC라고 부른다. 최근에는 PLC를 플랫폼으로 활용하여 능동 소자를 집적하여 필요 기능을 구현하기도 한다.

EML(Electro-absorption Modulated Laser): 단일 파장을 얻기 위한 반도체 DFB 레이저에 광세기를 변조할 수 있도록 인가 전압에 따라 흡수계수가 달라지는 EA(Electro-Absorption) 변조기를 단일 집적한 레이저. 일반적으로 레이저의 주입전류를 통제하여 광세기를 조절하는 직접변조 레이저에 비해 분산에 강해 장거리 전송에 유리하다.

약어 정리

DBR	Distributed Bragg Grating
DFB	Distributed FeedBack
DP-QPSK	Dual Polarization-QPSK
DQPSK	Differential Quadrature Phase-Shift Keying
EML	Electro-absorption Modulated Laser
FTTH	Fiber To The Home
IC	Integrated Circuit
LCoS	Liquid Crystal on Silicon
LSPIC	Large Scale Photonic Integrated Circuits
MZ	Mach-Zehnder
PIC	Photonic Integrated Circuit
PLC	Planar Lightwave Circuit
SAG	Selective Area Growth
SiOB	Silicon Optical Bench
SOI	Silicon on Insulator
UBM	Under Bump Metal

참고 문헌

- [1] R. Nagarajan and M. Smit, "Photonic Integration," *IEEE LEOS Newsletter*, 2007, pp.4-10.
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/UNIVAC_I.
- [3] Y. Han, Y. Park, S. Park, J. Shin, C. Lee, H. Ko, Y. Baek, C. Park, Y. Kwon, W. Hwang, K. Oh, and H. Sung, "Fabrication of a TFF-Attached WDM-Type Triplex Transceiver Module Using Silica PLC Hybrid Integration Technology," *J. Lightwave Technol.*, Vol.24, 2006, pp.5031-5038.
- [4] G. Maxwell, "Low-cost Hybrid Photonic Integrated Circuits Using Passive Alignment Techniques," *invited paper MJ2, IEEE-LEOS Annual Meeting*, Montreal, Canada, 2006.
- [5] J.W. Raring and L.A. Coldren, "40-Gb/s Widely Tunable Transceiver," *IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electron.*, Vol.13, No.1, 2007, pp.3-14.
- [6] R. Nagarajan et al., "Large-Scale Photonic Integrated Circuits," *IEEE J. Selected Topics Quantum Electron.*, Vol.11, 2005, pp.50-65.
- [7] M.T. Hill, H.J.S. Dorren, T.J. de Vries, X.J.M. Leijtens, J.H. den Besten, E. Smalbrugge, Y.S. Oei, G.D. Khoe, and M.K. Smit, "A Fast Low-power Optical Memory Based on Coupled Micro-ring Lasers," *Nature*, Vol.432, 11 Nov. 2004, pp.206-209.
- [8] A.W. Fang, H. Park, O. Cohen, R. Jones, M.J. Paniccia, and J.E. Bowers, "Electrically Pumped Hybrid AlGaInAs-silicon Evanescent Laser," *Opt. Express*, Vol.14, 2006, p.9203.
- [9] D. Liang and J.E. Bowers, "Photonic Integration: Si or InP Substrate?," *Electron. Lett.*, Vol.45, 2009.