

그린 포토닉스

Green Photonics

IT-에너지 융합부품소재 특집

박경현 (K.H. Park)

광집적회로팀 책임연구원

목 차

-
- I . 서론
 - II . 고효율 LED 기술
 - III . Optical Interconnection 기술
 - IV . 맺음말

화석연료 사용에 따른 클린에너지 및 “carbon footprint” 절감을 위해 태양광발전과 같은 직접적인 에너지 대안기술에서부터 조명 및 표시소자로서의 LED 고효율화 기술, 레이저를 이용한 비접촉성, 고속, 초정밀 측정 기술을 바탕으로 하는 공정 관리기술, 그리고 오염원검출 및 추출기술 관련 등 그린 포토닉스 기술 활용에 관심이 급증하고 있다. OIDA 보고 2010년경 100억 달러 수준의 부품시장이 형성될 것으로 예측되는 그린 포토닉스 분야의 기술개발 동향을 설명한다.

I. 서론

지구상에서 활용 가능한 에너지 자원이 언제까지 지속될 것인가에 많은 관심과 논쟁이 있어 왔다. 최근 들어 많은 전문가들은 세계 석유생산의 최대시점인 Hubbert's 피크가 언제인가가 예전처럼 크게 중요하지 않고 조만간 수요량이 생산량을 초과할 것이라는 변화하지 않는 사실에 관심을 가져야 한다고 주장하고 있다. 2003년 Key World Energy Statistics 발표자료에 따르면 2003년 전세계 에너지 소모량의 42.6%가 석유에 의존하고 14%는 식물로부터 추출된 알코올에 의한 것이고 나머지는 태양, 풍력, 지열로 3.5% 수준에 머물러 있음을 밝히고 있다. 이와 같이 비정상적이고 높은 화석연료 의존도로는 향후 급속한 증가가 예견되는 에너지 수요를 충족시킬 수 없을 뿐더러 화석연료 사용에 따른 지구 환경 문제 해결을 위한 클린에너지 및 "carbon footprint" 절감을 위한 기술개발에 많은 노력들을 진행시켜 왔다[1]-[3].

"Carbon footprint"란 제품 생산 과정에서부터 폐기까지의 전 과정에서 직간접적으로 발생하는 이산화탄소 총량을 의미하는 것으로 이의 절감을 위한 소자의 고효율, 저전력구동, 초소형기술 등이 기술 개발의 중심에 있어온 지 이미 오래되었다. 이와 같은 에너지 절감 및 그린기술의 핵심에는 태양광발전과 같은 직접적인 에너지 대안기술에서부터 조명 및 표시소자로서의 LED 고효율화 기술, 레이저를 이용한 비접촉성, 고속, 초정밀 측정 기술을 바탕으로 하는 공정 관리기술, 그리고 오염원검출 및 추출기술 관련 그린 포토닉스 기술에 관심이 급증하고 있다.

● 용어해설 ●

Green Photonics: 에너지 보존과 carbon footprint 절감을 위해 포토닉스 기술이 활용하는 것으로 Solid-state lighting, Solar photovoltaic, High efficiency communication and computing, Photonic sensing (Energy-efficiency/resource management), Efficient manufacturing 등 기술분야를 포함

그린 포토닉스의 핵심으로는 우선 현재 조명용이 전세계 에너지의 약 20% 이상 수준을 사용하고 있는 실정에서 기존의 백열전구와 형광등을 대체할 수 있는 SSL 기술을 들 수 있다. SSL이 기존 백열등 및 형광등을 대체하기 위한 lumens cost(\$/klm) 경쟁에서 우위를 점하기 위해서는 무엇보다도 소자의 높은 전광변환 효율 확보가 필수적이다[4]. 높은 전광변환 효율을 갖는 소자는 주입전류에 대한 높은 광자발생 효율을 나타내고 이를 위한 주요기술들은 태양광으로부터의 고효율의 전기를 생성시킬 수 있어 관련기술 확보가 곧바로 고효율 태양광발전과 직결될 수 있다는 점에서 많은 관심을 끌고 있다. 또한 고효율 LED는 평판디스플레이의 BLU 기술로 활용이 일부분 진행되고 있고 이는 기존의 CCFL 대체에 따른 환경적 문제나 TV 시청을 위한 5% 수준의 에너지 개선 효과를 얻을 수 있는 그린 포토닉스의 대표적 기술이라 할 수 있다[5]-[7].

언제 어디서나 실시간으로 음성, 비디오, 데이터 정보를 활용할 수 있도록 유무선 통합기술의 비약적인 발전으로 일방적으로 데이터를 받는 시대에서 이제는 인간이 데이터를 생성시키는 주체로 변화하고 있다. 이와 함께 생성된 정보의 저장 및 처리를 위한 데이터센터의 역할 및 중요성이 나날이 증가하고 있고 효율적인 운영을 위한 포토닉스 기술 활용이 필수적으로 고려되고 있다. 포토닉스 기술로 향후 5년 내 전세계 에너지의 5% 정도 거대 에너지 소모가 예상되는 데이터 센터의 효율화를 추구할 수 있고 이를 위한 여러 가지 포토닉스 기술개발이 발표되고 있는 실정이다[8].

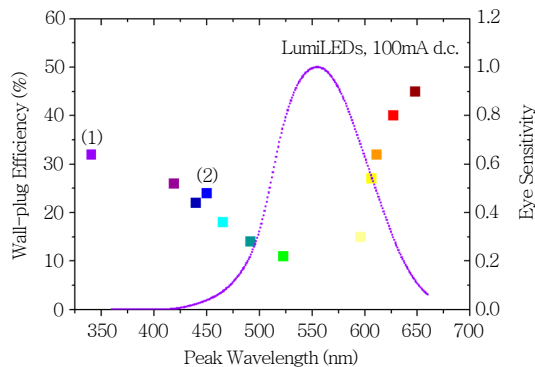
비접촉, 초고속, 병렬성, 발광특성 등의 장점 이외에도 전자기파가 가지는 고유의 특성을 활용 지구 대기상의 CO₂ 농도 센싱, 오염물질 검출, 오염물질 추출 등에 매우 다양한 포토닉스 기술이 활용되고 있다. 본 동향분석서에서는 그린 포토닉스 전분야를 지면에 할애할 수 없고 에너지 절감 및 이를 통한 carbon footprint를 절감할 수 있는 주요 기술인 고효율 LED, Interconnection 기술에 관한 기술동향을 정리하고자 한다.

II. 고효율 LED 기술

LED는 p형, n형 반도체 접합 다이오드에 전압을 가하면 전자와 정공의 결합으로 반도체의 밴드갭에 해당하는 에너지를 빛으로 방출하는 것으로 작은 규격, 내충격성, 긴 수명, 직접조명 등의 장점을 갖고 있는 이미 우리들에게 친숙한 광소자이다. 단순표시 소자에서 디스플레이, 신호등, 조명용으로 확대를 위한 고효율 전광 변환효율 확보를 위한 기술개발 경쟁이 급속히 진행되고 있다.

1. Light Emitting Diode

(그림 1)은 개발된 단위 LED의 wall-plug 효율을 보여주고 있다. Wall-plug 효율이란 칩에 주입된 전류에 대한 광출력의 비율을 표시하는 것으로 전광 변환효율을 표시하는 것이다. 2002년 OIDA에서 발표한 “LEDs for General Illumination”에서 2020년 기존 형광등을 대체할 수 있는 기술 목표를 200 lm/W으로 제시하였다. 세부적으로는 2012년 150 lm/W 달성으로 기존 형광등과 본격적인 경쟁을 시도하고 조명용으로 사용된 백열등을 완전 대체하는 것을 목표로 하고 있다. 기술적인 목표치 달성과 함께 합리적이고 경쟁 가능한 가격이 기술 목표치와 함께 제시되었고 이와 같은 목표값을 달성하기 위해서는 1) Substrate, Buffer and Epitaxy 기술 2) Physics, Processing and Devices 3) Lamp, Lu-



(그림 1) LED의 Wall-plug 효율

minaries and System 관련 핵심 기술 확보 필요성을 설명하고 있다[4]. 전광 변환에 기여하지 못하는 전자들은 소자 내의 주요 발열요인으로 반도체 특성 저하의 주요원인으로 작용한다. 기술적 목표와 현재의 기술수준이 아직 상당한 차이가 있으며 효율 확보를 위해 제시된 기술군을 중심으로 다양한 기술개발이 진행중에 있다. (그림 1)에서 각 자료는 2006년 발표된 1) Nichia Chemical Co., 2) Cree, 3) 나머지 데이터는 Lumileds Lighting LED 값을 인용한 것이다[9]-[11].

Wall-plug 효율은 결정성장 특성 및 칩 특성에 의한 내부 양자효율, 높은 굴절률에 의한 광추출 효율, 효과적인 열 방출 구조를 위한 패키징 효율에 의해 결정된다. 각각의 효율 극대화를 위해서는 매우 다양한 물리적 변수를 해결하여야만 가능하다.

$$\eta_{\text{wall plug}} = \frac{\eta_{\text{int}} \cdot \eta_{\text{extr}} \cdot \eta_{\text{pk}} E_{\text{photon}}}{V_f \cdot q}$$

η_{int} : Epitaxy	η_{extr} : Chip Technology	η_{pk} : Packaging
- Internal Q.E.	- Light extraction	- Radiation character
- Spectrum	- Low therm. resistance	- Low therm. resistance
		- Stability

가. Internal Quantum Efficiency

내부양자효율은 LED 내로 주입된 전자에 대한 활성층 내에서 광자를 발생시키는 비로 LED의 활성층의 결정성장 특성에 직접적으로 영향을 받는다. 가시광 LED 구조에 사용되는 대표적 재료는 III-Nitride계와 III-V 반도체 계열이다. GaAs 기판을 사용한 주황 및 적외선 LED 기술은 기판과의 격자 정합 구조로 성장된 활성층의 구조결함이 거의 없어 청녹색 기술에 비해 비교적 기술이 성숙되어 있으나 청녹색 LED 기술은 아직까지 고휘도 LED의 기술적 목표 달성을 위해서는 많은 기술적 장애물들을 극복하여야 한다. 대표적으로는 $10^{10} \sim 10^{12}$ 수준의 높은 dislocation density, 높은 격자정합차에 의한 piezo-electric field 문제, 낮은 도핑농도, mobility 문제 등이 있다. 문제점 개선을 위한 대표적인 결정 성장방법들을 <표 1>에 보였다[12],[13].

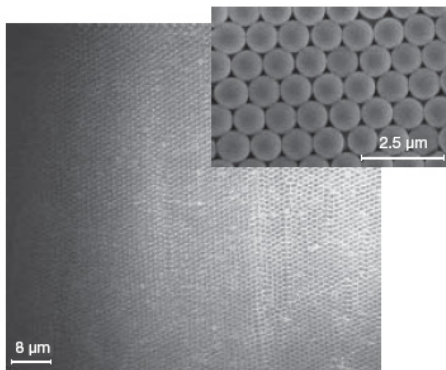
〈표 1〉 에피탁시법

Non-polar 기판	극성소멸에 따른 내부양자효율향상, 도핑조절가능, 편광빔
Current spreading layer	p-GaN의 낮은 도핑농도 및 mobility
ELO(Epitaxially Lateral Overgrowth)	Defect density 저하
Homo GaN 기판 사용	동종기판 활용에 따른 고품위 에피탁시 기술

나. Extraction Efficiency

주입전류에 의해 활성층에서 발생된 광자들이 III-Nitride 계열에서 클래딩 물질로 활용되는 GaN의 높은 굴절률($n=2.5$)로 공기와의 높은 굴절률 차로 대부분의 광자가 내부 전반사되어 광추출 효율이 극히 미비한 수준이다. 지금까지 활용된 대표적인 방법들로는 p-GaN 표면에 거친 면을 형성하여 탈출 각도를 확대하거나, (그림 2)와 같은 나노 구조체나 포토닉크리스털 구조를 GaN 표면에 형성시켜 fresnel 반사를 줄임과 동시에 탈출각 보정을 시도하거나, DBR 삽입에 의한 광자 recycling 효과를 통한 광추출 특성을 개선하였다. 이외에 패턴된 사파이어 기판을 사용하여 defect density를 줄이거나, 수직공진형을 활용하여 발광 스펙트럼 특성을 개선하거나 이를 통하여 발광추출효율을 증가시킬 수 있다[14]-[17].

(그림 3)과 같이 칩 자체의 형태를 변화시켜 2배 이상의 광추출 효율 결과를 얻었으며, 최근 들어 laser lift-off법이나 crystal ion slicer 방법을 사용

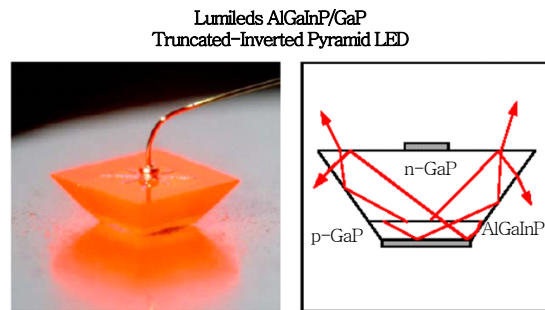


(그림 2) InGaN QW LED상의 2D 마이크로렌즈 어레이

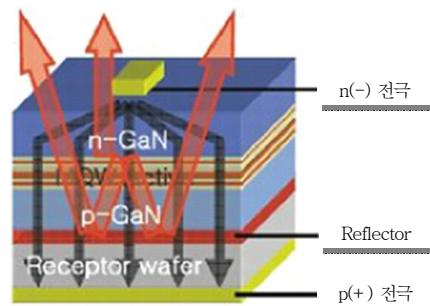
기판을 제거한 Thin GaN 칩 기술을 활용 기본형에 비해 3배 이상의 광추출 결과를 확보하기도 하였다.

DBR 반사경을 채택한 수직형 공진기 구조로 개선된 발광스펙트럼이 가능하고 이를 이용한 CCFL 대비 우수한 Gamet을 갖는 BLU 및 LED 프로젝트용 광원 관련 기술개발 관심이 점차 증가하고 있다. (그림 3)과 같은 높은 wall-plug 효율 확보와 생산성 확보를 위해 receptor wafer를 활용하여 wafer fusion을 한 후, 기판을 laser lift-off 혹은 crystal ion slice 기법으로 제거한 후 (그림 4)와 같은 vertical LED 개발이 추진되었다[18]-[21].

(그림 4)에서 볼 수 있듯이 광자 recycling 기법을 활용하고 기존 와이어 본딩 수를 줄이고, p형전극을 바닥에 위치시켜 열방출 특성이 우수하여 고휘도 LED 제작에 많이 활용되고 있다. 그러나 고가의 laser lift-off 장비 활용, wafer bonding 과정으로 인한 제한적인 공정으로 대량 생산시 가격 경쟁력 확보 등 아직 해결하여야 할 문제점들이 있으나 많은 업체에서 추진하고 있는 구도이다.



(그림 3) Truncated-Inverted Pyramid LED (Lumiled)



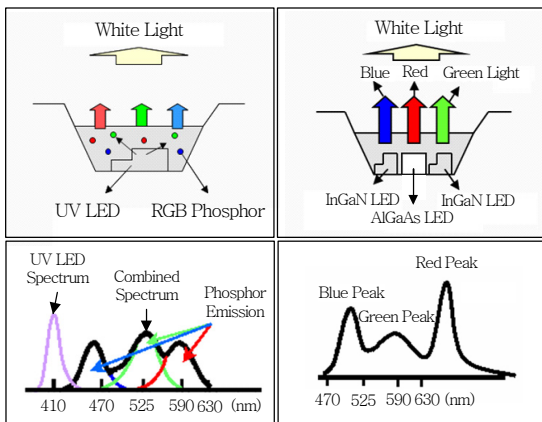
(그림 4) Vertical LED 예시

2. 백색 Light Emitting Diode

조명용으로 활용 가능한 백색 LED 개발이 활발이 진행되고 있으며 최근 들어 100 lm/W 이상 수준의 결과들이 보고되고 있어 이 분야의 급격한 기술 발전이 예상된다. 지난 10년간 LED 출력은 30배 증가하였지만 반면 가격은 10배 하락하는 산업 특성상 기술목표 달성과 함께 가격경쟁력 확보가 시장 진입의 핵심으로 이에 관한 차별화된 전략 없이는 시장 진입에 어려움이 있을 것으로 예상된다.

백색 LED 제조 방법은 단일 칩 형태의 방법으로 청색 및 UV LED를 여기 광원으로 하고 칩 위에 형광물질을 도포하여 백색을 얻는 방법과 여러 개의 R, G, B LED를 조합하여 백색을 얻을 수 있다(그림 5) 참조[22].

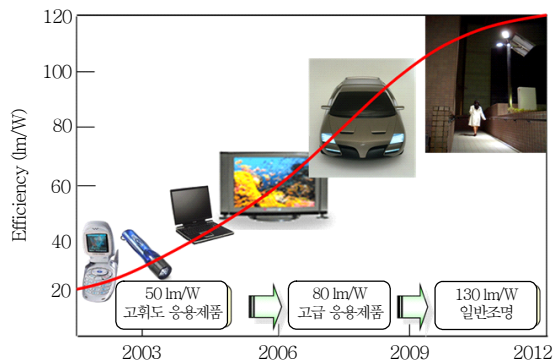
UV LED 빛을 염료에 여기시켜 백색광을 방출시키는 법은 넓은 파장 스펙트럼이 넓은 파장 스펙트럼, 우수한 색안정성, 상관색 온도와 연색성 평가지수를 조절하기 쉽다는 장점으로 백색 LED 구현에 많이 활용되고 있는 기술이다. 이에 반해 R, G, B를 각각 제어하는 방식은 방출되는 파장 스펙트럼이 넓어 연색성이 우수하지만 각각의 칩마다 동작전압의 불균일과 주변온도에 따라 칩 출력이 달라 이로 인한 색좌표 변화 등으로 해결하여야 할 문제들이 아직 많이 남아 있는 구조이나 LCD-BLU 적용시 칼라필터 및 색재현의 장점으로 연구 개발이 진행중에 있다.



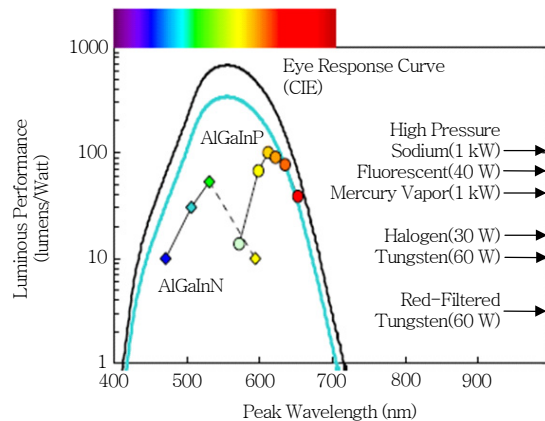
(그림 5) 백색 LED 제작법

SSL이 기존 백열등 및 형광등과 lumens cost (\$/klm) 경쟁에서 우위를 점하기 위해서는 고효율의 매우 간단한 공정으로도 구현이 가능한 소자개발이 필요하고 또한 조명용으로 활용되기 위해서는 무엇보다 인간 친화적인 감성공학이 고려되어야 한다. (그림 6)은 백색 LED 제품 로드맵에서 형광등 기준치인 80 lm/W 수준이 가격 경쟁력을 확보하였을 때 디스플레이, 자동차 등의 고급 응용 제품에 활용이 예상되고 130 lm/W 이상부터 일반조명용으로 시장 진입이 가능할 것으로 예측하고 있다[4]. 일반적인 조명에서는 외주 주입 전기에너지에 대한 광출력 변환효율에서 인간이 느끼는 파장에 대한 민감도를 고려한 조명효율(luminous efficiency)이 중요하다[4].

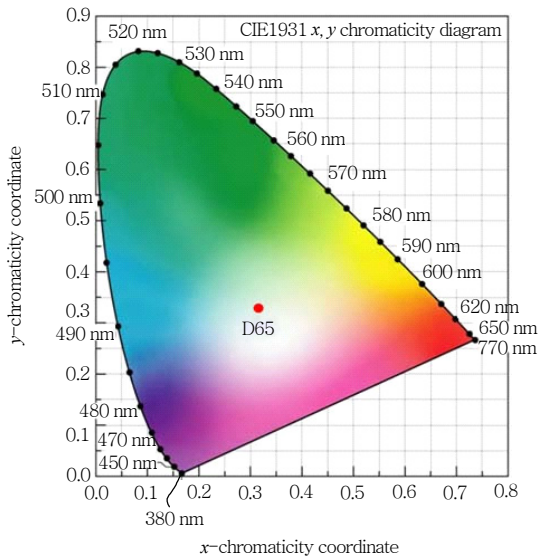
(그림 7)에서 볼 수 있듯이 인간이 가장 민감하게



(그림 6) 백색 LED 제품 로드맵



(그림 7) 단색광 및 타 백색광원에 대한 Luminous Efficiency(OIDA 2002 TRM)

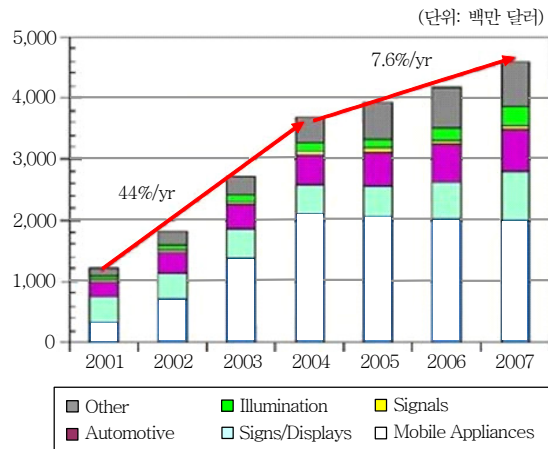


(그림 8) CIE1931 Chromaticity Diagram

반응하는 파장이 555 nm를 정점으로 분포 함수 특성을 갖는다. 조명용으로 활용하기 위해서는 조명효율 외에도 연색성(color rendering)이 중요하고 높은 CRI를 갖는 백색 LED 개발이 필수적이다. 연색성이란 조명이 색감에 영향을 미치는 정도를 지수로 나타낸 것으로 (그림 8)에서 D65 지점이 (6500 K에서의 흑체복사) 자연백색광이 되기 위해서는 CIE 1931 표에서와 같이 삼원색에 해당되는 색조합을 선정하여야 한다[23].

고효율 LED를 개발하기 위한 내부양자효율 및 광 추출 효율에 대한 현재 시도되고 있거나 추진되었던 기술내용에 대한 간략한 기술현황에 대해 알아보았고, 최종적으로 LED 효율 및 수명에 절대적인 영향을 끼치는 패키징 기술 확보가 시장 경쟁력 확보에 있어 무엇보다 중요하나 그 내용이 방대하여 제외하였지만, 열적 안정성, 고효율, 저가격화가 가능한 패키징 기술이 고효율 백색 LED 기술개발에 필수적이다.

2020년 조명시장 규모가 약 1,150억 달러 수준 정도로 1%의 조명효율 증가가 연간 20억 달러 규모를 절감할 수 있다. LED 전체 시장 중 급격한 시장 확대가 예상되는 고효도 LED 시장에 관한 (그림 9)와 같은 2006년 Strategic Unlimited 발표자료에



(그림 9) 고효도 LED 시장 및 응용영역

의하면 2007년 50억 달러 수준에 도달하고 2004년은 시장규모의 44% 수준이 모바일용이었지만 2012년경에는 신호 및 디스플레이가 전체 적용분야의 44% 수준으로 될 것으로 예측되어 관련 시장 패러다임 및 시장의 급격한 변화가 예상되어 시장진입 관련 치열한 경쟁이 예상된다.

Ⅲ. Optical Interconnection 기술

일본 NTT는 연간 네트워크 센터 전력소모량이 2006년 8.7 TWh 수준에서 2030년 30 TWh에 도달할 것으로 최근 발표하였다. 이 양은 한국전력 발표 2005년 국내 총소비전력이 360 TWh 수준인 점을 고려한다면 특단의 대책을 내놓아야 하는 정도의 엄청난 전력소비로 NTT는 두 가지 전력소비 절약 방안을 2008년 발표하였다. 첫번째로 네트워크 센터에 DC 전원을 사용하는 방안으로 ADC 변환에 따른 20%의 절감을 예상하고 다음으로 구체화되어 있는 계획은 급속한 인터넷 트래픽의 증가에 따라 데이터센터 내의 에너지 절감이 무엇보다 중요한 시점에서 광기술을 적극적으로 도입하는 것과 고급 CMOS 기술을 활용하는 것에 대해 발표하였다[8]. 유선 네트워크 외에도 무선 네트워크에서는 70~80% 전체 소모전력을 RAN에서 소모하고 저전력소모 및

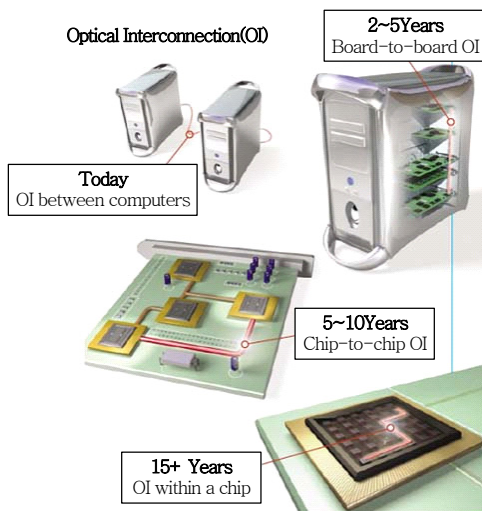
고효율 증폭기 채택으로 50% 전력소비 절감을 할 수 있다는 Huawei Technology의 발표가 있었다. 여기에 Radio over Fiber 기술 및 보다 작은 cell size로 운영하여 저전력 소비 RAN을 운영할 수 있었고 더구나 일정규모 이하의 저전력소모로 base station을 태양 및 풍력 등의 그린에너지로 운영할 수 있었다고 한다.

1. Optical Interconnection 기술

급격히 증가하고 있는 인터넷 트래픽의 효율적인 처리를 위해 광기술 활용 확대는 필수적으로 전자소자의 낮은 효율 및 처리속도 한계를 (그림 10)과 같은 단계별 OI 기술개발 발전 방향이 제시하였다.

단계별 기술내용으로는 기기간 접속부터 보드간, 칩간, 칩내 OI 기술로 발전이 될 것으로 예상하고 있다.

최근 실리콘 포토닉스 기술개발로 저전력구동 초고속 신호 처리용 기능소자들이 값싼 실리콘 재료를 활용 광소자 및 구동신호 집적형 구도에 관한 연구 결과들이 발표되고 있다. 최근 2008년 5월 DARPA에서 칩간 접속 기술을 실리콘포토닉스 기술로 개발하는 것에 관해 5년간 약 44백만 달러 프로젝트에 SUN Microsystem이 수주하였다고 발표를 하였다



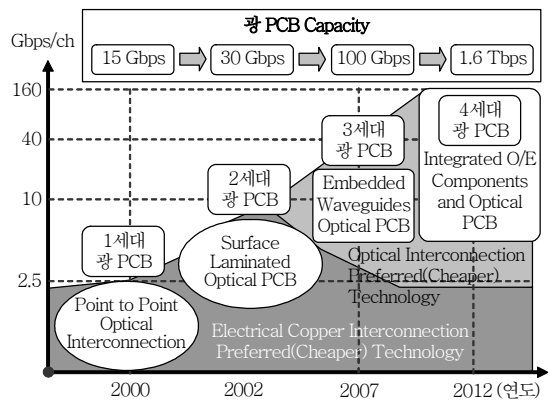
(그림 10) Linking with Light(IEEE Spectrum Aug. 2002)

[24]. 이는 칩간 OI 기술을 뛰어넘어 OI 기술분야 최종 목표를 개발목표로 하고 있어 저전력소모, 초고속 특성 제공이 가능하여 미래 지향적인 신호처리 기술을 제공할 수 있을 것이다.

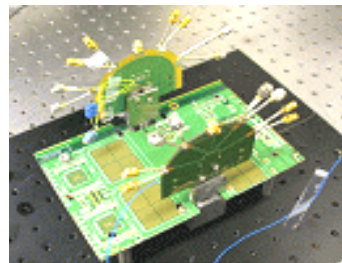
가. Board-to-Board Interconnection

기존 전기회로간 접속에서 발생하는 문제점으로 low data through, 감쇠, 높은 전력손실, high crosstalk, 지연, low density, complex wiring 등이 있으며 전기-광 PCB 기술을 통해 기존 문제점들을 해소함과 동시에 저전력소비 및 저가형으로 초대용량 신호처리 시스템 개발이 추진되었다.

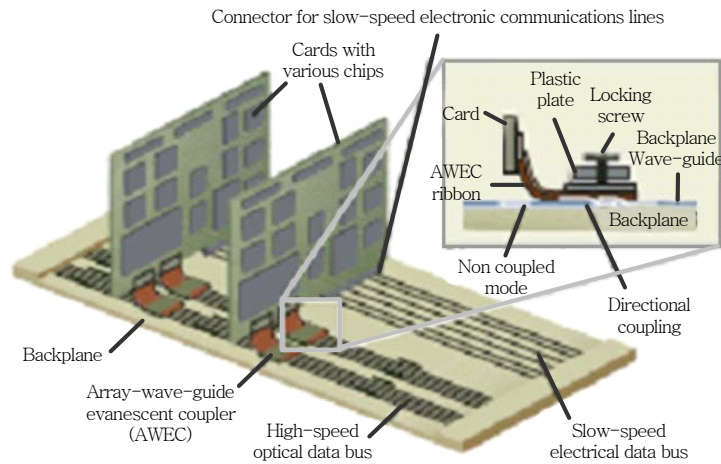
(그림 11)은 점간 OI 기술에서 단위속도가 채널당 10 Gbps급 이상에서는 광접속 기술이 경쟁력을 갖고 이로 인한 광 PCB 기술분야의 급속한 발전으로 초기 점간 접속에서 칩내 접속기술을 활용 테라급 접속기술 제공이 가능할 것으로 예상하고 있다.



(그림 11) 광 PCB의 기술발전 전망도

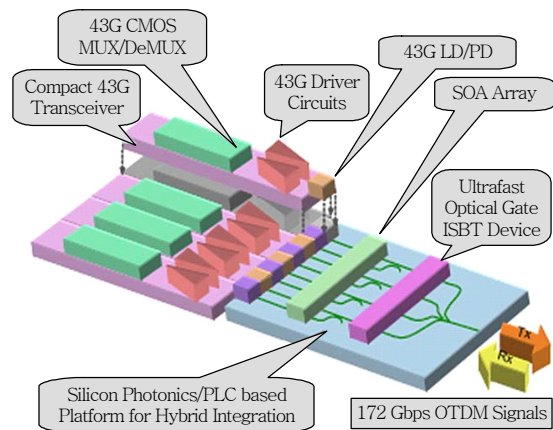


(그림 12) 유기광도파로 및 10 Gbps 보드간 광접속 (ETRI)



(그림 13) 플렉시블형 광 PCB

보드간 연결로 광신호가 매우 짧은 범위 내에서 전송이 이루어져 850 nm VCSEL이 광원으로 많이 활용되고 도파로는 (그림 11)에서 세대별로 광섬유, 표면도파로, 매립형 도파로 등이 활용되었다. 3세대까지는 광소자와 전자소자 배치가 독립적으로 이루어짐을 알 수 있다. (그림 12)는 채널속도 10 Gbps로 보드간 유기 광도파로를 접속한 보드간 광 PCB 개발 결과를 보여준다. 90도 광 경로 변경에 따른 가격경쟁력 및 신뢰성 저하 문제를 evanescent 광 커플러를 활용 플렉시블형 보드간 광 PCB 기술이 (그림 13)과 같이 개발되었다[25],[26].



(그림 14) 172 Gbps OTDM Network Line Card

나. Chip-to-Chip Interconnection

Board-to-Board Interconnection 기술에 이어 칩간 이 기술 제공을 위해서는 매우 제한된 크기와 전력소모량으로 초고속의 신호처리를 직렬 및 병렬 처리할 수 있어야 한다. 최근 들어 대용량 optical network line card를 (그림 14)와 같은 형태로 개발하여 대용량 신호처리 플랫폼의 발전가능성을 보였다[27]-[29].

43 Gbps CMOS MUX/DeMUX 등의 전자소자와 43 Gbps LD/PD 그리고 실리콘 도파로를 집적하여 개발하였다. 수동 광도파로는 기존 실리카도파로에서 굴절률이 높은 SiN를 활용 VOA, optical add/drop filter 등 다수의 수동 광소자들이 개발되



(그림 15) SiN Optical Add/Drop Filter

었다. (그림 15)는 고굴절률 SiN 도파로 공진기의 cascading ring형으로 만든 optical add/drop 필터를 보여주고 있으며 flat-top 특성과 동시에 50 dB extinction ration 특성을 제공하고 있다[30].

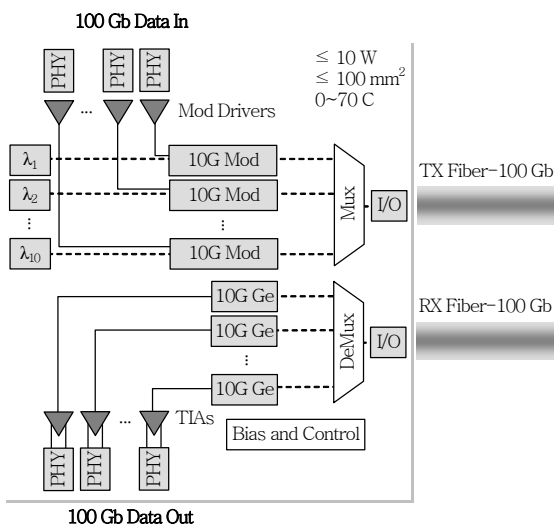
보다 큰 굴절률의 실리콘 광도파로 개발로 초소형 마이크로 광소자 개발이 가능하였으나, 매우 작

은 코어사이즈로 인한 도파로 측면의 거칠기 제거를 위한 공정기술, 광섬유와의 광커플링 구조 등의 문제점 해결을 위해 많은 노력들이 진행중에 있다.

2. PIC

칩내 OI 기술 구현은 곧바로 단일기판상의 PIC 기술이라 할 수 있다. 모든 기능을 한 개의 플랫폼상에 구현하여야 하고 이것이 가능하다면 그린 포토닉스 정의에 부합되는 기술이 개발될 것이다. 칩내 OI 기술은 레이저, 변조기, 광도파로, MUX/DeMUX, PD, 광구동 전자소자 등이 한 개의 플랫폼상에 집적화 되어야 한다. 실리콘 포토닉스 기술의 비약적인 발전으로 실리콘광원을 제외한 대부분의 기능소자들을 한 개의 실리콘 플랫폼상 채널별 10 Gbps 실리콘 변조기, 광원, 구동 전자소자를 한 개의 플랫폼상에 하이브리드 집적화한 (그림 16)과 같은 100 Gbps PIC 플랫폼 기술이 Luxtera에서 개발되었다[31].

아직까지 실리콘을 활용한 효율적인 광원에 대한 대안을 확보하지 못한 상태에서 (그림 16)과 같이 광원을 제외한 모든 부품들을 집적화하고 광원은 외부에서 신호광을 plug-in 하는 방식이나, 레이저를 플립칩 본딩하거나, InP 에피택시 기판을 실리콘 도파로가 형성된 실리콘기판상에 웨이퍼 본딩하여 각

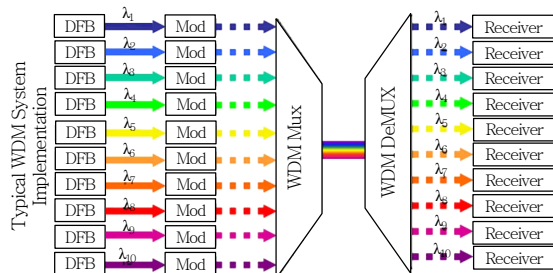


(그림 16) 실리콘포토닉스 플랫폼 100 Gbps PIC

각의 공정을 진행하여 하이브리드 광원집적기술이 활용되고 있다[32],[33]. 실리콘의 간접천이 특성으로 레이저 개발 단일 집적형 플랫폼이 개발된다면 실리콘 포토닉스 기술이 여러 분야에서 채택될 가능성이 매우 클 것이다. 실리콘과 같은 값싼 재료는 아니지만 쉽게 광원을 제작할 수 있는 InP 기판을 LD, PD, 변조기를 단일 집적화하여 채널별 10 Gbps로 10개의 WDM 채널을 묶어 100 Gbps Photonics Integrated Circuits 기술이 Infinera에 의해 상용화되었다(그림 17) 참조[34].

칩간 OI 기술에서 발전하여 광범위하게 칩내 OI 기술이 활용되기 위해서는 초고속, 대용량, 저전력 구동 등의 핵심기능 제공은 물론이고 저가격으로 기술이 제공되어야 한다. 초창기 고속변조기와 외부 광평핑에 의한 라만 실리콘 레이저 연구결과로부터 시작된 실리콘포토닉스 분야에서 매우 빠른 기술발전이 진행되고 있다[35]-[37]. 특히, 고속변조기 분야에서 극적인 발전이 진행되었고 최근 40 Gbps 급 성능을 구현하고 있다. PD, 어레이형 VOA, 필터 등의 일부 단위소자의 경우 저가형 및 대량 생산체계가 구축되어 기존의 광부품 시장에서 본격적인 시장진입이 예상된다. 외부 펌프광 없이 실리콘 레이저 개발이 무엇보다 중요하고 매우 다양하게 연구들이 진행되고 있지만 빠른 시일내 기술적인 도약이 이루어질 것 같지는 않지만 2008년 DARPA의 칩내 OI 프로젝트 시작을 계기로 관련기술의 발전이 기대된다[38].

지금까지 고효율 포토닉스 기술과 초고속 광접속 기술을 위한 PIC 기술 발전에 관해 살펴보았다. 저전력구동, 초고속, 대용량 개념의 PIC 기술이 앞서



(그림 17) InP 기반 단일 집적형 100 Gbps PIC

언급하였듯이 저가화로 실현된다면 곧바로 센싱 모듈로 활용이 가능하여 매우 다양한 응용기술에 적용이 예상된다.

IV. 맺음말

유비쿼터스 사회의 핵심은 인간중심으로 인간에 유해한 인자들을 실시간으로 검출, 초고속 대용량 네트워크 기반 아래 운영될 것으로 예측되고 있어 포토닉스 기반의 비접촉, 비파괴, 병렬성, 고속 특성의 장점을 갖는 포토닉스 기술이 미래사회 경쟁력 확보에 핵심사항으로 인지되기 시작하였다. 미국 광산업협회의 2020년 조명 기술목표 달성은 전세계 소비 에너지 효율화와 지구환경 문제를 동시에 고려할 수 있음을 의미하다. 형광등을 전면적으로 대체할 수 있을 정도의 고효율 조명기술 개발은 고효율 태양광에너지 생산과 직결되어 고효율 포토닉스 기술 확보가 무엇보다 시급하고 본 동향보고에서 각국의 포토닉스 기술개발 동향을 분석하였다.

중국 및 대만의 저가형 제품과 일본의 고부가가치 제품 경쟁에서 경쟁력을 확보하기 위해서는 장기간의 체계적인 기술 경쟁력 확보가 무엇보다 선행되어야 하고 이는 하루 아침에 이루어지지 않는다는 것을 우리는 잘 알고 있다. 미래 기술의 핵심인 포토닉스 기술에 대한 지속적인 기술경쟁력 확보와 경쟁력 있는 IT 인프라와 접목하여 관련 시장 선점을 준비하여야 할 것이다.

약어 정리

BLU	Back Light Unit
CRI	Color-Rendering Index
LED	Light Emitting Diode
OI	Optical Interconnection
PCB	Print Circuit Board
PD	Photo Diode
PIC	Photonics Integrated Circuit
QCL	Quantum Cascade Laser

RAN	Radio Access Network
SNR	Signal to Noise Ratio
SSL	Solid-State Lighting
VOA	Variable Optical Attenuator
WDM	Wavelength Division Multiplexer

참고 문헌

- [1] Randy Ellingson, "Solar Cells: Slicing and Dicing Photons," *Nature Photonics*, Vol.2, 2008, pp.72-73.
- [2] Carl Zweben, "Advances in Photonics Thermal Management and Packaging Materials," *Proc. SPIE 6899*, 2008, pp.689918-1-689918-12.
- [3] Carl J. Neufeld et al., "High Quantum Efficiency In-GaN/GaN Solar Cells with 2.95 eV Band Gap," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.93, pp.143502-143505.
- [4] "Light Emitting Diodes(LEDs) for Generating Illumination," OIDA Technology Road Map Update 2002.
- [5] Ryuli Oshima et al., "Strain-compensated InAs/GaNAs Quantum Dots in High-efficiency Solar Cells," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.93, 2008, p.083111.
- [6] Manning Fan et al., "Color Filter-less Technology of LED Back Light for LCD-TV," *Proc. SPIE*, Vol. 6841, 2007, pp.68410G1-68410G6.
- [7] Gail Overton, "Photonics and the Energy Crisis," *Laser Focus World*, Vol.42, 2006, pp.68-70.
- [8] Tohru Asami et al., "Energy Consumption Target for Network Systems," *In Proc. of ECOC*, Brussels Belgium, Sep. 2008, Paper Tu.4.A.3.
- [9] www.nichia.com
- [10] www.cree.com
- [11] www.philipslumileds.com.
- [12] C. Wetzel et al., "Light-emitting Diode Development on Polar and Non-polar GaN Substrates," *Journal of Crystal Growth*, Vol.310, 2008, pp.3987-3991.
- [13] T. Detchprohm et al., "Green Light Emitting Diodes on a-plane GaN Bulk Substrates," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.92, 2008, p.241109.
- [14] V. Coffey, "Microlens Array Improve the Extraction Efficiency of Nitride LEDs," *Laser Focus World*, Vol.44, 2008, pp.29-30.
- [15] Y.K. Ee et al., "Enhancement of Light Extraction Efficiency of InGaN Quantum Wells Light Emitting Diodes Using SiO₂/polystyrene Microlens Arrays," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.91, 2007, p.221107.

- [16] C.H. Chiu et al., "Nanoscale Epitaxial Lateral Over-growth of GaN-based Light-emitting Diodes on a SiO₂ Nanorod-array Patterned Sapphire Template," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.93, 2008, p.081108.
- [17] D.M. Yeh et al., "Surface Plasmon Coupling Effect in an InGaN/GaN Single-quantum-well Light-emitting Diode," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.91, 2007, p.171103.
- [18] S.K. Kim et al., "Efficient GaN Slab Vertical Light-emitting Diode Covered with a Patterned High-index Layer," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.92, 2008, p.241118.
- [19] R.H. Horng et al., "AlGaInP/Mirror/Si Light-emitting Diodes with Vertical Electrodes by Wafer Bonding," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.82, 2003, pp.4011-4013.
- [20] A. Tauzin, "Transfers of 2-inch GaN Films Onto Sapphire Substrates Using Smart Cut™ Technology," *Electron. Lett.*, Vol.41, 2005, pp.668-669.
- [21] S.C. Hsu et al., "Fabrication of Thin-GaN LED Structures by Au-Si Wafer Bonding," *Electrochemical and Solid-State Lett.*, Vol.9, 2006, pp.G171-G173.
- [22] R. Xie et al., "Highly Efficient White-light-emitting Diodes Fabricated with Short-wavelength Yellow Oxynitride Phosphors," *Appl. Phys. Lett.*, Vol.88, 2006, p.101104.
- [23] www.lightemittingdiodes.org
- [24] www.research.sun.com, 2008. 3. 24. 홍보자료
- [25] J.J. Yang et al., "Array Waveguide Evanescent Ribbon Coupler for Card-to-backplane Optical Interconnects," *Optics Letters*, Vol.32, 2007, pp.14-16.
- [26] S.H. Ahn et al., "Pluggable Optical Board Interconnection System with Flexible Polymeric Waveguides," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol.20, 2008, pp.572-574.
- [27] S. Namiki et al., "Optical Regeneration at 40Gb/s and Beyond," *J. Lightwave Technol.*, Vol.21, 2003, pp.2779-2790.
- [28] T. Barwicz et al., "Fabrication of Add-drop Filters Based on Frequency-matched Microring Resonators," *J. Lightwave Technol.*, Vol.24, 2006, pp.2207-2218.
- [29] M.A. Popovic et al., "Hitless-reconfigurable and Bandwidth-scalable Silicon Photonic Circuits for Telecom and Interconnect Applications," *In Proc. of OFC/NFOEC*, San Diego USA, 2008, Paper OTuF4.
- [30] T. Barwicz et al., "Fabrication of Add-drop Filters Based on Frequency-matched Microring Resonators," *J. Lightwave Technol.*, Vol.24, 2006, pp.2207-2218.
- [31] C. Gunn, "Fully Integrated VLSI CMOS and Photonics," "CMOS Photonics," *In Proc of IEEE Symp. on VLSI Technology*, Kyoto Japan, 2007, pp.6-9.
- [32] R. Jones et al., "Integrated Hybrid Lasers and Amplifiers on a Silicon Platform," *In Proc. of OFC/NFOEC*, San Diego, USA, 2008, Paper OWM1.
- [33] A.W. Fang et al., "Distributed Feedback Silicon Evanescent Laser," *Optics Express*, Vol.16, 2008, pp.4413-4419.
- [34] www.infinera.com
- [35] H. Rong et al., "A Continuous-wave Raman Silicon Laser," *Nature*, Vol.433, 2005, pp.725-728.
- [36] S. Rune et al., "Strained Silicon as a New Electrooptic Material," *Nature*, Vol.441, 2006, pp.199-202.
- [37] Attila Mekis, "Silicon Photonics: Lighting Up the Chip," *Nature Photonics*, Vol.2, 2008, pp.389-390.