

LED 시장 및 기술 동향

유영문 (부경대학교)

I. 서론

노벨수상자 알페로프 교수에 의해 P-n 반도체의 이종접합된 소자에 전기를 흘리면 광이 발생한다는 현상이 1960년대초에 발견되었고, 1968년 GaAsP 적색 LED 양산, 1980년대 AlGaAs 계열 고휘도 적색 LED 출현, 1990년대 초 InGaAlP계 초고휘도 적색 LED가 개발되었다. 1980년대 나카무라 슈지 박사가 GaN에 의한 청색발광을 발견한 이래 1993년 GaN계열 고휘도 청색, 1995년 GaN계열 고휘도 녹색 LED가 출현하였고, 1996년 GaN계 청색 LED에 황색형 광체를 도포한 백색 LED가 발명되었으며 1997년 UV LED가 출현하였다.

우리나라에서는 LED 연구가 1994년에 처음 착수되어 2000년경 중소벤처 창업과 상용화가 시작되었으며, 2002년경 휴대전화의 key pad에 LED가 채용됨으로써 우리나라 LED산업이 비로써 기지개를 펴기 시작하였다.

LED에 대해 별다른 주목이 없었던 2001년 광주광산업에서 LED에 대한 연구개발 제안이 제기되어 2003년 성장동력 산업으로써의 잠재력이 인식되기 시작하였으며, 2004년부터 한국

광기술원을 중심으로 LED에 대한 연구기반이 구축되고, 산학연 협동연구가 본격적으로 시동되어 기술력이 향상되기 시작하였다.

그 후 5년이 경과한 지금, 우리나라는 LED연구의 역사가 미국, 일본, 독일 등에 비해 매우 일천한 역사를 가지고 있으므로 아직도 세계일류 기술국이라 할 수는 없으나 2008년부터 시작된 녹색성장 국정아젠더와 산학연의 긴밀한 네트워킹과 협동연구, 기업의 본격적인 기술개발 및 생산시설 투자로 인해 세계일류의 대열에 진입하기 시작하였다. 2009년에 일어난 (1) 서울반도체-니치아 간의 특허 화해, (2) 삼성LED 출현, (3) LED BLU를 채용한 LCD TV의 상용화, (4) 한국광기술원과 LED·반도체조명학회의 유효한 학술활동의 4대 흐름은 2015년경 우리나라 LED산업을 세계정상의 수준으로 인도하는데 원동력으로 작용할 전망이다.

특허분석 결과에 의하면 LED산업은 지금도 LED분야 세부기술별 출원건수들이 성장초기의 현상을 나타내고 있다. 2005년 주요국에 출원된 LED특허는 14,000건이었지만 지금은 약 20,000여 건에 이르고 있으며, 기술개발 투자가 지속적으로 증가되고 있기 때문에 높은 출원증가율이

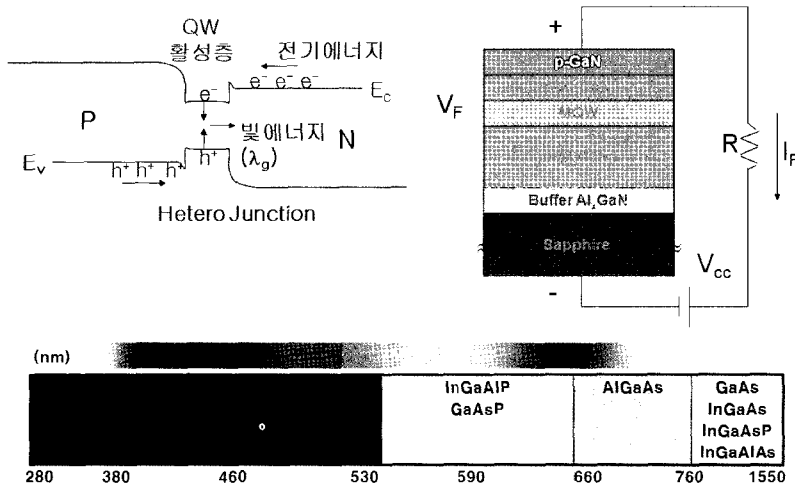
유지될 것으로 전망된다. LED 광소자의 성능 또한 급격하게 향상되고 있다. 2002년 20lm/W에서 2010년 130lm/W의 상용화를 목전에 두고 있으며, 2015년에는 180 lm/W에 도달할 전망이다. 광소자의 성능향상에 따라 LED의 응용범위가 크게 확장되고, 이에 따라 시장과 매출이 기하급수적 확대일로에 있다. 종래에 LED는 고통신호등, 문자전광판 등에서 단순표시소자로 사용되었지만, 지금은 백열전구, 할로겐전구, 싸인, 간판, CFL, 보안등 등을 대체하고 있고, 2012년 경에는 형광등에 대한 소비자들의 부담이 낮아져 경제성 있는 치환이 가능해질 전망이다. 그리고 2012년 이후에는 농업, 수산업, 조선, 의료, 환경, 정보가전, 군수산업에 까지 LED의 응용이 확장되어 거대한 신시장이 탄생될 전망이다.

앞에서 설명한 바와 같이 LED산업은 그 성장성과 미래 유망성으로 인하여 우리나라가 타국에 정상의 자리를 결코 양보할 수 없는 산업이 되었다. 전세계적으로 지금까지 LED기술에 있어서 많은 기술적 진보와 경제적 성과를 거두어 왔으나, 앞으로 나타날 발명과 변혁은 LED의 과

학기술과 시장, 기업의 매출에 미치는 임팩트가 더욱더 클 것으로 전망되고 있다. 그 미지의 발명을 기능해보기 위해 본고에서는 LED의 원천기술과 응용기술의 과거와 현재를 살펴보고, 미래가 어떻게 발전할 것인지, 시장규모는 어느 정도가 될지에 대하여 논의해보고자 한다.

II. LED와 LED산업의 특성

LED(light emitting diode, 발광다이오드)는 <그림 1>과 같이 p-n접합된 반도체에 전기에너지를 인가하면 활성층의 반도체 밴드갭에 해당하는 파장의 빛을 방출하는 소자를 말한다. 이 때 발생하는 빛의 선폭은 매우 좁으므로 선명한 색을 지니며, 발광파장은 활성층 재료의 종류에 따라 적외선(IR)에서 부터 가시광선(Visible), 자외선(UV) 까지 넓은 범위의 파장을 인위적으로 만들어 낼 수 있다. 일반적으로 LED제조에 III-Nitride(질화물계)와 III-V계열의 반도체 재료가 사용되는데, GaN계 LED는 UV에서 녹



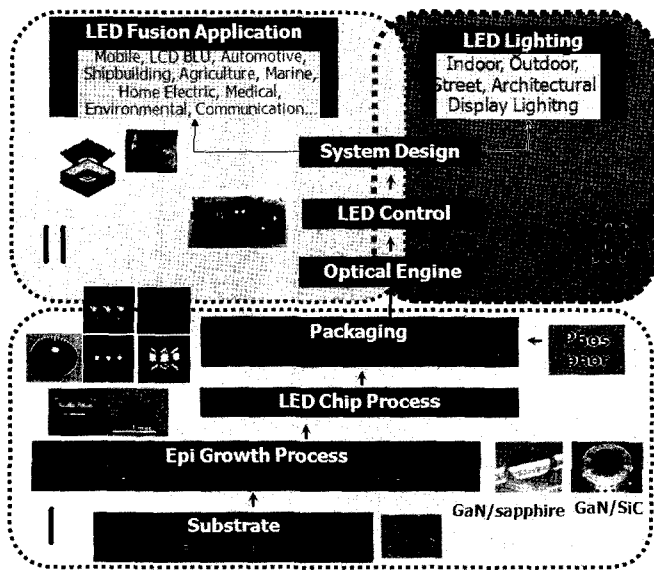
<그림 1> 밴드갭에 의한 광자 방출, p-n접합된 LED의 기본 구조와 LED 재료별 발광 파장

색 까지, GaAs계 LED는 황색에서 적외선까지의 빛을 방출한다.

LED의 특징은 고효율(약 64%), 높은 색순도(선폭 5nm), 장수명(약 5~10만 시간), 저전압구동(2~5V), 작은 소비전력(백열전구 대비 90%, 형광등 대비 35~50% 절감), 빠른 반응속도(약 60ns의 on-off구동), 점광원으로써 소형광원(직경 3mm), 폭 38m와 길이 420m의 대형화면 가능, 형태변형과 우수한 디자인 자유도, 높은 화학적 안정성, 낮은 junction 온도로 인한 차가운 광원, RGB 3원색에 의한 총천연색 구동, 초고속 디지털 IT 제어에 의한 동영상 연출 가능 등의 장점을 갖고 있다. 반면에 빛의 파장과 강도가 온도에 의존적이므로 일정한 온도 하에서 구동되도록 방열대책이 필요하고, 아직까지는 기존 광원에 비해 제조가격이 비싼 단점을 가지고 있다.

LED산업은 세부적으로 LED광소자, LED조명, LED융복합, LED장비과 LED용 부품소재의

5개 세부산업 군으로 구성된다. LED광소자 산업은 기판 위에 에피성장을 하고, 반도체와 유사한 칩공정과 패키징 공정을 통해 광소자를 제조하는 산업이다. LED조명산업은 실내조명, 실외조명, 건축 및 도로조명, 디스플레이조명 등 생활필수품이며, 국민 생활과 안전에 밀접한 영향을 끼치는 제품을 제조하는 산업이므로 국가가 규격을 정하여 제품이 제조, 보급되도록 한다. LED융복합산업은 휴대전화, LCD, 자동차 등 기존의 공산품에 LED가 채용되어 기존 제품의 기능을 제고시켜 고부가가치 제품이 됨으로써 기존산업과 LED산업이 윈-윈하는 융합기술 성격의 산업으로 세트메이커들이 사내규격으로 규격을 결정하는 특징을 갖는다. LED조명과 융복합산업은 광원 (optical engine)의 제조, 광학열전자적인 제어, 기구물의 설계 및 제조를 통해 조명장치를 제조하고, 이것에 통신기술, 인간의 심리생리 제어기술 등이 결합하여 소비자들에게 감성 및 웰빙 조명, 스마트 조명을 제공하게 된다.



<그림 2> LED산업의 구조와 주요 제조 공정

III. 최근 LED 광소자 기술개발 동향

1. 백색 LED 로드맵

지난 10년간 백색 LED를 기준으로 LED의 성능향상 이력과 향후의 전망을 <그림 3>에 나타내었다. 이 그림에 세계 최정상 기술력을 보유하고 있는 니치아와 국내기업의 역량을 비교하였으며, 루미레드와 크리의 연구실적 성과물도 동시에 표기하였다.

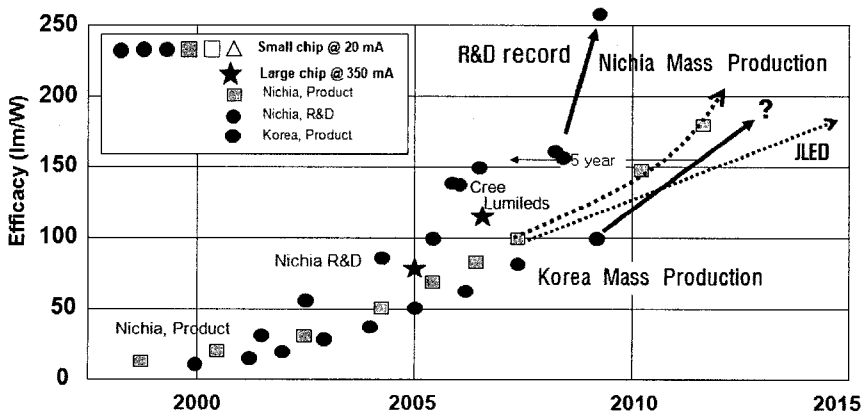
<그림 3>에서 알 수 있는 바와 같이 니치아는 2002년에 30lm/W, 2004년 50lm/W에 도달한 이후 2008년 100lm/W 성능의 제품이 상용화가 이루어졌다. 실험실적으로는 2007년초 150lm/W, 2009년에는 250lm/W를 상회하는 결과가 얻어졌다고 보고되었다. 루미레드는 2007년 향후 5년 이내에 150lm/W를 상용화한다고 발표하였고, 니치아는 이에 대해 경쟁적으로 2010년에 150lm/W, 2012년에 180lm/W를 상용화하겠다고 선언했다. 우리나라는 2009년 100lm/W급 LED의 상용화에 성공하였으나 실험실적 결과는 공개된 것이 없으며, 원천기술 및 특허 등에

있어 기술적 기반이 선진국에 비해 여전히 취약한 상황이다.

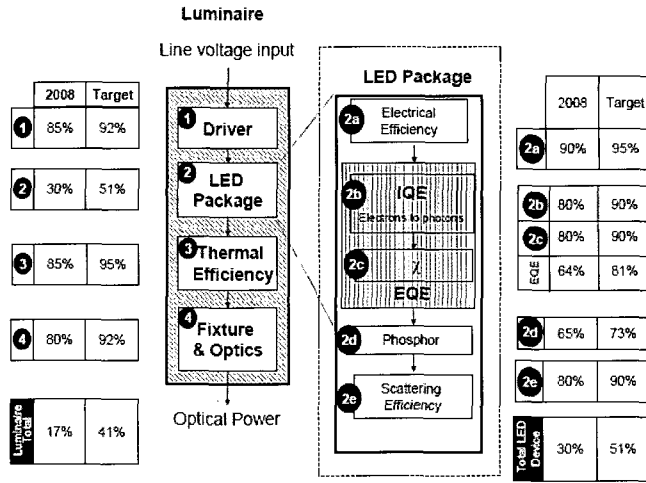
2. LED 광소자의 기술적 과제

LED조명기기의 총효율은 1) driver 효율, 2) LED광원 효율, 3) 열적 효율, 4) 기구물 및 광학 부품 효율에 의하여 결정되며, LED광원의 효율은 1) 패키지의 전기 효율, 2) LED칩의 내부양자 효율, 3) 외부양자 효율, 4) 형광체 효율, 5) 산란 효율의 곱으로 결정된다. 미국 에너지성(DOE)은 반도체조명의 효율 향상을 2008년 17%로부터 2015년 41% 까지 2.4배 증가시키기 위해 <그림 4>와 같이 각 단위별 효율 향상 목표를 수립하고 연간 50만\$을 기술개발과 보급 촉진 등에 투자하며 LED산업을 육성하고 있다.

2008년 현재 LED는 내부양자효율 80%, 외부양자효율 80%이며, 형광체 효율이 65% 등으로 LED광원의 총효율은 30%에 머물고 있다. 이것을 51%까지 향상시키면 180lm/W의 LED를 상용화할 수 있다. 그러므로 LED광소자에서 5가지 효율을 각각 목표 이상의 값으로 향상시키



<그림 3> 백색 LED 기술개발 로드맵



〈그림 4〉 미국 DOE의 형광체 사용 LED조명의 2008년 수준과 2015년의 기술개발 목표

는 것이 LED광소자의 기술적 과제이다.

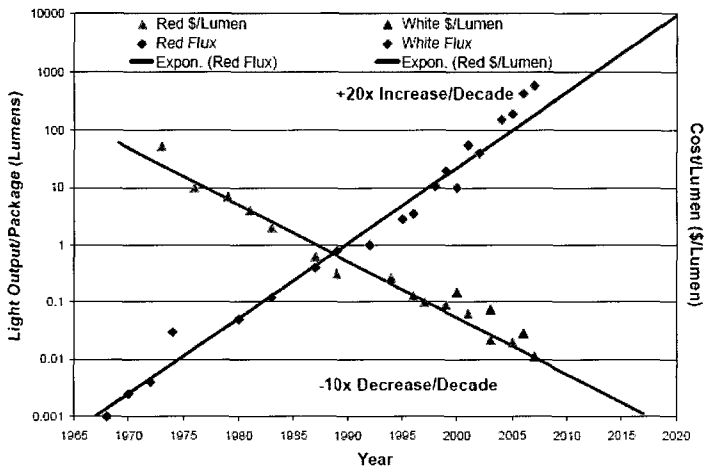
LED의 효율 향상과 더불어 저가격화 기술 또한 중요한 과제가 되고 있다. 〈그림 5〉에 LED의 성능향상과 저가격화 추세를 나타내었다.

지난 40년 동안에 LED의 성능은 20배 향상되었고, 가격은 10배 감소하였는데, 향후의 추세와 개발 목표도 이를 통해 전망할 수 있다.

3. LED 광소자의 제조공정

〈그림 6〉에 LED광소자 제조공정을 나타내었다.

상업적인 에피의 박막성장은 MOCVD (유기 금속화학증착법, metal organic chemical vapor deposition)로 성장한다. 이 방법은 process gas와 carrier gas를 높은 온도에서 흘려 증착시



〈그림 5〉 LED의 성능향상과 저가격화에 대한 Heitz의 법칙

에피	칩 前공정				칩 後공정			패키징		
박막성장	노광	세정	식각	증착	마모	절단	평가/분류	본딩	몰딩	Test & Taping
MOCVD	Contact aligner, wafer track, ICP, e-beam evaporator, lapping, scribing, prober/sorter							Die bonder, wire bonder, tester, taping		

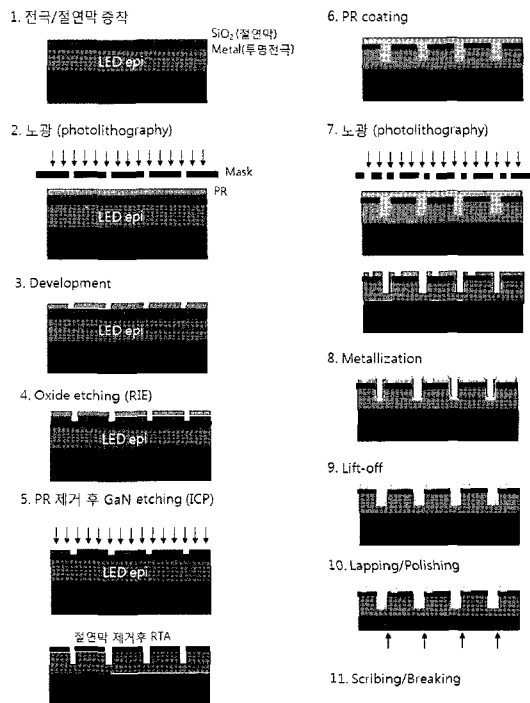
〈그림 6〉 LED 광소자 제조공정

키기 때문에 gas flow dynamics, 온도, 압력의 정교한 제어를 통해 다층박막 내 불순물 주입농도를 제어하며, 박막의 두께 균일도, 표면 거칠기 제어 등 안정된 공정기술 확보가 기본적으로 중요하다. 이에 더하여 밴드갭 엔지니어링과 높은 양자효율을 가지는 활성층의 구조 설계, 고품질 에피의 성장과 성장된 에피의 특성평가 기술이 중요하다. 기판과 박막결정의 열팽창계수의 차이에 의해 bowing과 에피 내 stress가 발생하고, 격자정수의 차이로 인해 고밀도의 전위가 발생하여 에피의 품질이 저하된다. 이를 회피하기 위하여 다양한 방법이 발명으로 창안되고 있다.

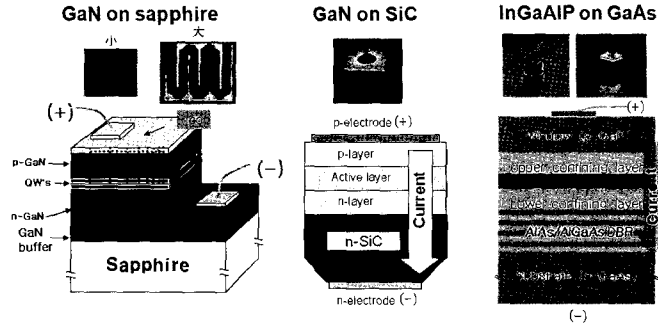
저가격화를 위해 웨이퍼 45매 이상의 대량 생산 또는 6~8인치로 에피웨이퍼 직경을 대구경화하는 추세에 있다. 6인치 대구경화는 칩공정 수율향상에 이득이 크지만 2인치에 비해 bowing 현상이 9배 민감해진다. 그러므로 수율향상을 위해 전위밀도 저감, 발광과장 균일성, run to run 안정성을 확보하면서 대구경화하는 기술이 중요해지고 있다. 대구경화가 용이한 Si 기판을 사용한 GaN 에피 성장 기술도 많은 연구가 추진되고 있다.

일반적인 LED칩 제조공정은 다음의 〈그림 7〉과 같다. 현재 상업적인 칩의 생산은 사파이어와 SiC 기판 위에 GaN 에피를 성장하여 near UV LED, 청색 LED, 녹색 LED를 성장하고 있

으며, GaAs 기판 위에 InGaAlP계열의 에피를 성장하여 amber, 적색 LED를 제조한다. 〈그림 8〉에 일반적인 칩의 구조를 나타내었다. 사파이어 기판은 전기적 부도체이므로 수직형LED를 직접적으로 제조하는 것이 곤란하고, 수평전류로 인해 전하가 밀집되는 현상과 낮은 열전도율로 인한 열관리의 문제, 큰 격자부정합으로 인해 박막에 전위증식과 잔류응력을 발생시키는 단점이



〈그림 7〉 LED 광소자의 칩 제조공정



〈그림 8〉 기판 및 LED 재료별 칩의 구조

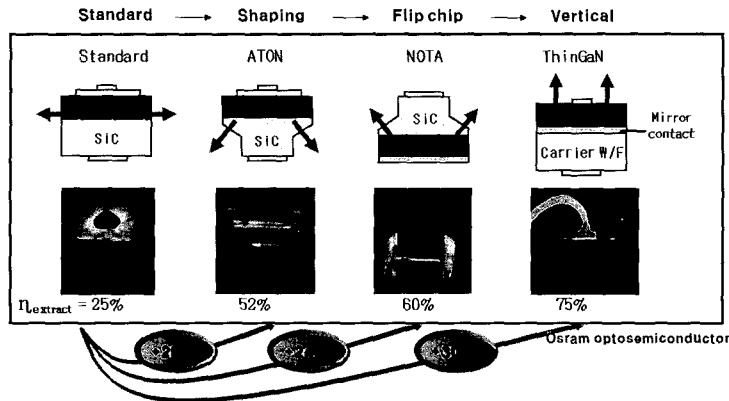
있지만 고온과 수소 분위기 하에서의 물리화학적 안정성과 저가격의 이점이 있어 가장 널리 사용되고 있다.

SiC 기판은 당초 Cree사가 고온 반도체 재료로 개발한 것이었으나 GaN과 격자부정합이 가장 적으므로 에피결합이 적고, 전기전도성이 있어 수직형 LED 제조에 적합하며, 고온안정성이 있어 기판으로 사용하게 되었다. SiC기판은 고가격, 단파장에서의 광손실, 큰 굴절율로 인한 낮은 추출효율이 단점이다.

GaAs 기판은 불투명한 기판으로 가시광을 흡수하며, 낮은 추출효율과 온도에 매우 민감한 단점이 있으나 격자부정합이 거의 없고, 수직형 구조와 대규격화가 가능한 장점이 있다.

칩공정 및 패키지 공정에서는 광추출효율 향상에 초점을 둔 기술개발이 진행되고 있다. 광추출효율 향상을 위하여 투명기판, 두꺼운 window layer, distributed Bragg reflector, omnidirectional reflector 형성 등을 통해 광의 전반사 탈출콘 화장을 시도하고, patterned sapphire substrate, surface roughening, 광자결정, 나노임프린트 기술 등이 출현하고 있다.

또한 열관리에 이점이 있는 수직구조, thin film 기술들이 효율 향상에 크게 기여를 하고 있는 추세이다. 특히 thin GaN에 의한 수직구조 LED는 standard LED에 비해 3배의 성능향상을 보이고 있다. 관련 기술의 진화 추세를 〈그림 9〉에 나타내었다.



〈그림 9〉 SiC 기판 GaN LED 칩의 관련 기술별 광추출효율 증가 동향

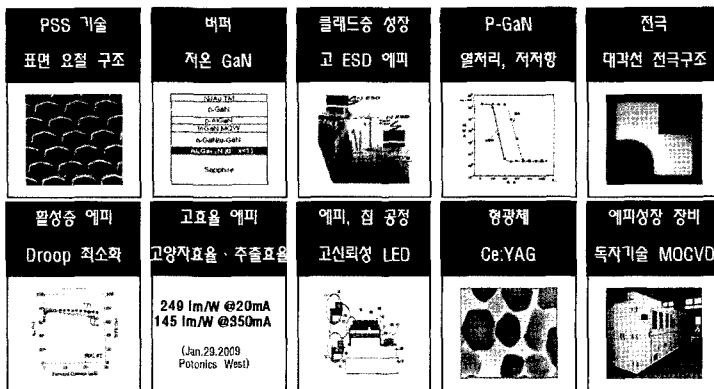
4. LED 선진사 보유기술의 특징

LED개발에 역사가 깊은 기업으로 일본의 니치아, 미국의 루미레드, 독일의 오스람옵토세미컨덕터가 있다. 이들 기업들 중 4,000편 이상의 유효한 특허를 보유하고 있는 니치아는 보유 특허를 통해 우리나라와 대만의 세계시장 진입을 저지하는 전략을 구사한 바 있다. 니치아 보유기술 중에서 가장 대표적인 기술 10개를 선정하여 <그림 10>에 나타내었다. 니치아는 기판의 표면 요철구조를 통해 광추출 효율을 높이고, 저온 GaN 버퍼기술로 결함을 감소시키며, 고ESD (electro -static discharge) 에피를 성장하는 클래드층 성장기술, 열처리에 의한 저저항 p-GaN기술, standard LED구조에서 가장 효과적인 전하분포를 갖는 대각선 전극구조, 고전류 하에서 광출력이 낮아지는droop 현상을 최소화 하는 활성층 에피기술을 보유하고 있으며, 그 밖에 높은 양자효율과 추출효율을 갖는 고효율 에피기술을 가지고 있어 20mA 구동에서 249lm/W, 350mA 구동에서 145lm/W의 실험실적 연구 성과를 보고하고 있다. 2012년에 특허기간이 만료되는 황색 YAG 형광체는 현재까지도 가장

높은 양자효율을 갖는 형광체로써 백색 LED의 성능을 높이는데 크게 기여하고 있으며, 독자기술로 제조하여 LED 에피성장애 사용하고 있는 MOCVD 기술도 니치아의 강점기술에 속한다.

루미레드, 크리, 오스람 또한 수천 편의 유효한 LED 특허를 보유하고 있으며, 각 사별로 강점기술을 선정하여 <그림 11>에 나타내었다. 루미레드는 Flip chip 공정에 의한 박막기술, 칩 shaping 기술, conformal coating 기술, wafer bonding 기술, 패키징 소재공정 기술 등을 확보하고 있으며, 크리는 SiC기판 독자 기술에 의한 에피성장 기술, chip shaping 기술, 수직형 칩공정 기술을 보유하고 있고, 오스람은 Thin GaN 기술, 패키징 소재공정기술 및 TAG 형광체 기술을 보유하고 있다.

우리나라도 최근 LED 기술개발이 활성화되면서 기업별 강점기술이 출현하기 시작하였는데 LG이노텍의 수직형 LED, wafer level package, Silicate 형광체 기술 등을, 에피밸리는 SiC 버퍼 기술, 고농도 p-GaN 기술, 고 ESD기술 등을, 서울반도체는 AC LED, 웨이브스캐어는 chemical lift off 기술, 삼성전기는 투명전극, 고효율 well, barrier 설계기술 등을 확보하고 있다.

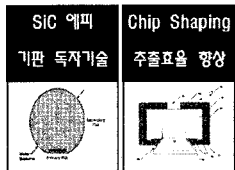


<그림 10> 니치아의 10대 강점기술

> Lumileds



> Cree



> Osram



<그림 11> 루미레드, 크리, 오스람의 강점기술

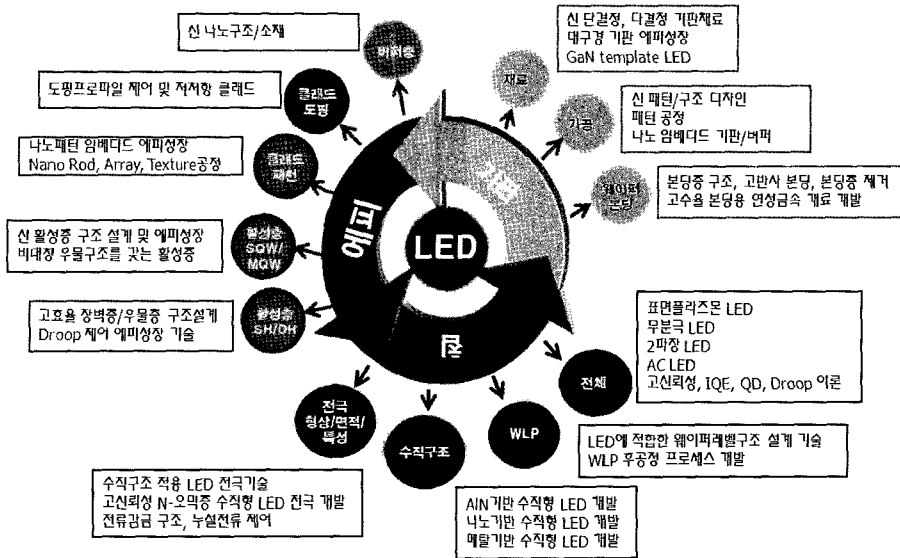
5. LED 광소자 효율향상을 위한 기술개발 방향

특허를 정밀분석하여 년도별 기술발전 추세를 살펴보고, 발전방향을 전망해보면 <표 1>과 같

다. 2000년 초에는 기판기술, 다층막, 전극기술 등의 발전이 있었으며, 2005년경에 플립칩, 반사막, 측면성장, QD, 도전성기판 기술들이 발전했고, 최근 전류차단, 감금구조, 기판패턴, 수직형 표면요철, 광자결정, 무분극, AC LED 기술이

<표 1> 특허분석 기반 기술발전 추세 및 전망

증분류	소분류	'00이전	'00-'02	'03-'04	'05	'06	'07	'08	향후 예측
기판	기판재료	'88 SiC 기판 US4918497 '97 GaAs 기판 JP3164015		'04 GaN 기판 JP4218597					도전성투명 신기판재료
	기판가공		'02 요철 EP02751652 '08 요철 US2008-022769			'06 기판패턴 JP2006-352129		수직형구조 표면요철 JP2009-015673	저기장광 나노패턴
클래드층	패턴/요철	'99 다층막 JP2000-232236					제1클래드층 내 나노투명결정체 JP2007-221132		양산형 나노 용접기술
활성층	SQW/MQW구조, 양자점 구조			'04 다파장 발광 KR 0664989		'06 QD, QC 필연속 구조 JP2007-019455	'07 광자결정 US20070187703		표면 플라즈몬 LED
전극	전극 형성/면적/특성등	'99 대극선전극 JP2748699 '04 p-GaN 투명전극 EP1450415 '00 ZnO 투명전극 US6701743		'03 전류감금구조 US2006-0163586		'07 전류차단구조 US2008-0061311		'08 전류감금구조 US2009-0121246	수직형 LED 적용
	감구조	수직구조		'03 플립칩 번식막 KR 0624416	'05 도전성기판 LED JP20050199891 '05 도금방식 수직형 KR07445891	'06 패턴 기판 수직형 접 US2008-0224154	'06 메이스피어 표면 US20060273334		대구경 WLP 수직형 LED
기타	웨이퍼패턴 패키지		'04 플립칩구조 배어 US2004-0203189	'05 CSP 구조 US7329905	'06 플립칩 수직구조 US7250667		'08 CSP 구조 US2008-0142817		CSP
전체	에피성장 전체			'05 R면 성장 JP 4140696	복수계 발광층 ACLED KR06908231		'08 m면 성장 KR 2007-0089735	'07 n.p. 사이 Spacer US2007-0145384	무분극 LED AC LED



<그림 12> LED광조사 분야 유망기술

출현했다. 향후에는 도전성 투명 신기관 재료, 자기정렬 나노패턴, 양산형 나노융합기술, 수직형 LED, 대구경 wafer level package, CSP, AC LED 기술이 지속적으로 발전할 전망이다.

180lm/W를 달성하는 새로운 기술들은 기존의 기술과는 차별화된 원천성 강한 기술이 될 것이며, 현재의 기술 보다 크게 진보된 기술이 될 것이다. 향후에 출현할 기술을 예비하기 위하여 기술개발 방향을 전망한다면 <그림 12>에 제시한 바와 같은 기술들이 우선적으로 검토되어야 할 것으로 생각된다.

IV. 최근 LED조명 기술개발 동향

1. LED 조명의 기술개발 모티브

LED조명기술의 궁극적인 목표는 인류에게 보다 안락하고, 건강증진에 도움이 되며, 인간의 심리와 감성에 부합하는 풍요로운 조명환경을 제공하는 것에 있다. 고품질 LED조명을 통해 인류

의 삶을 풍요롭게 하고자 하는 것이다. <그림 13>에 현재 구현되고 있는 LED조명의 설치 사례를 나타내었다.

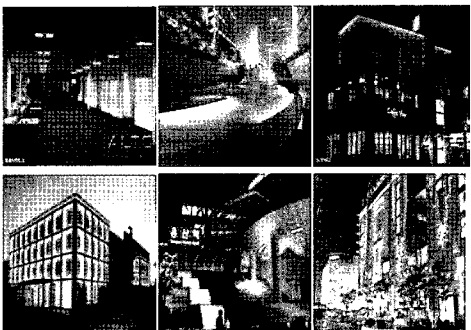
❖ White LED House Lighting (Physiological)



❖ White LED Door Shop Lighting (Psychological)



❖ Full Color Architectural Lighting (Psychological)










<그림 13> LED를 이용한 심라생리조명의 사례

고품질 조명의 구현을 위한 기술개발의 첫째 단계는 조명기구으로써의 요건을 만족시키면서 에너지절감효과가 큰 고효율 LED조명기구를 만드는 것이며, 둘째 단계는 인지과학적 기반 위에서 인간의 심리(psychological lighting)과 생리조명(physiological lighting) 기술을 개발하는 것이고, 셋째로 인간의 위치 추적, 생활 안전과 보안, local dimming에 의한 빌딩 에너지효율 관리 최적화 기술, 넷째로 유비쿼터스에 통합되기 위한 디지털조명 네트워크 구축 및 반도체 조명도시 건설에 기여하는 기술을 개발하는 것이 될 것으로 전망되고 있다.

2. LED조명은 retrofit에서 monolithic 으로 진화

지금까지 소비자들이 LED조명에 대한 인지도가 낮고, 백열전구, 할로겐전구, 형광등 등을 쉽게 대체하여 사용하는 것에 관심이 집중되었기 때문에 LED조명의 형태와 규격이 기존 조명기구와 같게 제조하여 기존 광원을 단순대체 하는 조명(retrofit luminaire)에 관심이 집중되어져 왔다. 그로 인해 LED가 가진 장점을 극대화시킨 독자적 설계의 조명(monolithic luminaire) 제품을 개발하기 보다는 LED의 장점을 희생시키면서라도 기존 조명제품의 규격에 우선적으로 일치시킨 다음 LED의 장점을 차순위로 발휘하게 해보려는 기술개발이 주로 이루어졌다. 기존 조명의 규격들이 제한요인으로 작용하는 상황 속에서 백열전구와 동일한 형상, 크기, base 등을 가지면서 백열전구와 동등한 성능과 가격을 제시하는 것은 매우 비효율적인 것이지만 시장 요구로 인해 LED조명은 이러한 규격을 수용하면서 전력소모 저감으로 대처해 왔다. <그림

LED Luminaire	Pay-back Period
 LED MR16	0.9 years
 LED PAR30	2.0 years
 LED PAR38	2.4 years
 LED Bulb	2.0 years
 LED Down Light	3.0 years
 LED Fluorescent Light Retrofit	3.3 years
 LED Plat Light	3.8 years

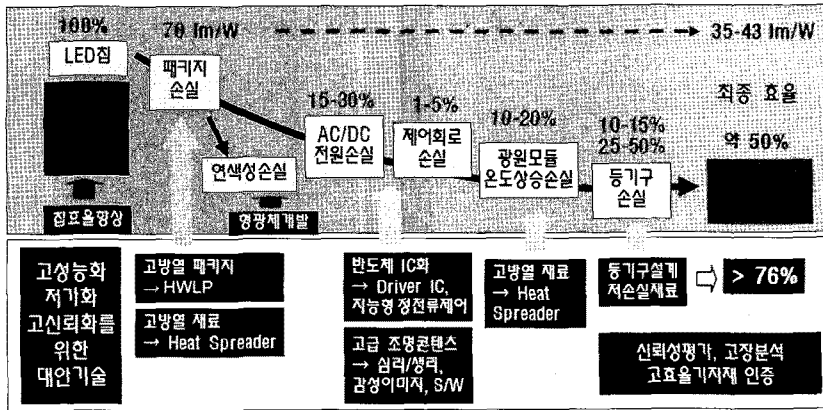
<그림 14> LED조명 제품별 pay-back 기간

14>에 근래에 개발된 retrofit 제품의 사례와 기존조명 대비 소비자에게 이익이 되돌아가는 기간을 나타내었다.

그러나 향후의 조명은 LED조명의 장점을 최대한 구현하면서 독자적인 조명규격을 가진 monolithic조명으로 진화하게 될 것이다. 전구는 둥글고, 형광등을 길며, 조명기구는 의례히 렌즈나 등기구가 붙어있는 것이라는 고정관념에서 벗어나 LED의 점광원들을 단독 또는 클러스터를 형성하여 판형, 선형, 점 등 다양한 형태의 조명기구가 제조될 것이다. 이러한 monolithic 조명기구들은 LED장점을 극대화하면서 환경 디자인적 요소들과 결합하여 실내외 환경을 미려하게 하는 강점을 갖게 될 것이다.

이 때에도 LED조명은 LED의 광을 효과적으로 사용하는 조명기구으로써 1) 고효율과 저소비 전력, 2) 고 연색성지수(CRI), 3) 적절한 색온도, 4) 배광조건 만족, 5) 높은 빛 균일도 등 기존조명이 발휘하는 조명조건을 만족시키면서, 1) 온도에 민감한 active 광소자로서의 단점을 극복하게 하는 온도안정성, 2) 장수명과 고신뢰성, 3) 저가화가 이루어지게 될 것이다.

고효율 monolithic LED조명기구를 개발할 때



〈그림 15〉 LED조명의 효율저하 원인과 대안기술 사례

가장 중요한 것은 LED광소자가 발생한 광의 손실 원인을 발견하고, 이에 대한 대안기술을 확보하는 것이다. <그림 15>에서 보는 바와 같이 종래의 기술은 LED칩이 발생한 광을 100%라고 할 때 기존기술은 패키지손실, 연색성손실, 전원변환 손실, 제어손실, 온도상승에 의한 기능저하 손실, 동기구 손실 등의 요인으로 최종효율은 50% 정도이었다. 그러나 각 손실 원인에 대하여 대안을 제시하게 되면 조명기기 효율을 76% 이상으로 향상시킬 수 있다. 향후 패키지 대비 조명기기 효율은 2008년 57%, 2010년 64%이며, 2012년 70%, 2015년 80%로 향상시켜 나아가 세계시장 접근이 가능할 것으로 전망되고 있다. 물론 저가격화를 위하여 고비용 공정의 간소화와 저가격화를 위한 양산기술 개발은 동시에 병행되어야 할 것이다.

3. LED조명의 미래형 기술

미래형 LED조명은 2020년 반도체조명 도시의 실현을 향해 나아가기 때문에 그와 관련된 고기능의 조명장치 및 제어기술을 필요로 한다. 즉, (1) 인간의 심리, 생리현상에 부합되는 인지과학

적 조명, (2) local dimming 등에 의한 에너지절감의 고도화와 빌딩전체 조명에너지의 효율적 관리, (3) 자연스런 색변환 기능과 소형 콤팩트 조명기기, (4) 설치환경과 부합되는 디자인, (6) 센서와 결합되어 안전, 보안, 부가서비스 기능을 제공하는 스마트조명, (7) 가시광 통신과 결합한 텔레메트릭스 또는 유비쿼터스 제어 및 대용량 정보교환, (8) 도시의 야경 제어와 에너지절감 기술 등이다.

심리 및 생리조명은 총천연색 변화에 따른 인간의 뇌파, 심박, 피질 등의 생리적인 변화와 이에 수반하는 심리적인 변화를 이용하여 인간의 주의력과 감성을 자극하고, 생체리듬에 부합하는 조명을 제공한다. 인간에게 安康美樂과 다양한 감성과 느낌 등을 제공하며, 구매욕구 촉진, 자연채광 하에서와 같은 상쾌한 작업환경의 제공, 집중력과 학습효과를 제고하는 심리 및 생리조명은 소비자에게 고기능을 제공하는 고부가가치 기술이 될 전망이다. 가정 및 사무실의 안전과 방범 기능, 자동차의 경우 졸음운전방지 기능, 과속 운전 및 접근차량 경계기능, 운전심리 채색표기 기능 등 다양한 스마트 기술이 고급 LED조명기술이 될 것이며, 정보통신기술과 LED조명 기술

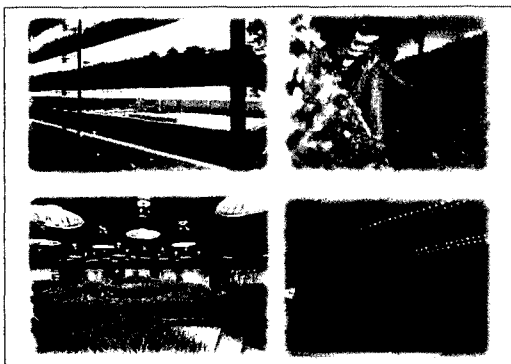
의 결합에 의한 매장 정보 안내, 환자 건강정보의 실시간 진단, 도로 및 공원의 중앙관제 및 제어, 항만관리 등과 조명을 통한 시민생활의 안전한 환경 유지 등도 향후 유망기술로 떠오르게 될 전망이다.

V. 최근 LED융복합 기술개발 동향

1. LED-농생명 융복합 기술 동향

LED의 농생명 융복합 기술의 목표는 LED조명을 이용한 농산물 성장연구 및 상용화 기술 개발, 에너지자립형 자동제어 LED식물공장의 실용화 등 융합기술을 개발하고, 시범사업, LED농산물 제품인증과 조명시스템 규격제정 등을 추진하는 것이다. 국내에서 이 사업은 전북 LED 융복합센터(주관기관 전북대학교)가 중추적인 기능을 맡고 있다.

현재 농업 제품으로 한약재, 채소, 과일 등, 생물산업으로 미생물, 수산업으로 플랑크톤 등을 대상으로 한 광합성 제어기술 개발이 진행되고 있으며, 이러한 기술개발을 통해 고정정, 고영양



〈그림 16〉 LED-농생명 융복합 기술: 식물공장

식품을 국민에게 제공하며, 에너지 자립형 농업과 식물공장에 의한 신산업 육성을 추진중이다.

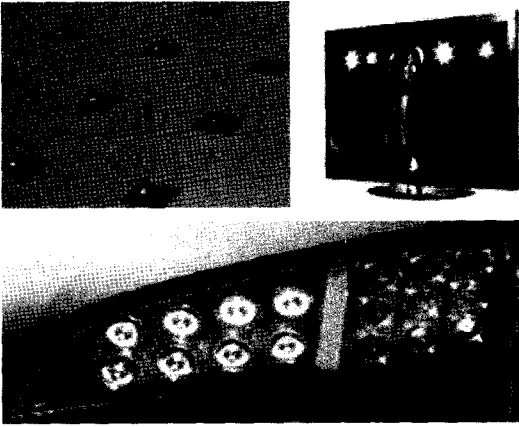
식물공장은 자연환경에 영향을 받지 않고 균일한 작물의 연중 계획생산이 가능하며, 재배면적의 효율 극대화, 재배환경의 제어를 통하여 재배기간의 단축, 고영양 및 유용물질의 함량 증가가 가능하며, 무농약 재배 및 폐기물 발생이 적고, 재배품종과 재배지역적 한계를 극복할 수 있는 장점이 있다.

최근 고려인삼에 대한 LED조명 재배 중간결과 보고에 의하면 단위면적당 생산성 2~3배가 향상되고, 4년근 재배기간이 1.5년으로 단축되고, 사포닌의 함량이 5~10배 증진되며, 무농약 인삼재배가 가능함을 알게 되었다.

2. LED-IT 융복합 기술 동향

LED의 IT 융복합 기술의 목표는 LED조명을 이용한 Mobile, LCD, 자동차, 기타 IT 분야 원천기술 및 상용화 기술을 개발하는 것으로 국내에서는 LED-IT 융합 산업화 연구센터(영남대학교)가 중추적인 기능을 맡고 있다.

이 연구센터에서는 (1) LED기반 3D환경맵구축을 통한 차량환경인지 기술, LED기반 차량 가이드기술, LED기반 차량 및 도로정보 시스템 요소기술 등 LED광원 기반 차량주행 보조 융합기술 및 시스템 개발, (2) Thin film형 optics 설계 및 IT 제어기술, 구동 IC 구동회로 기술, 신개념 열제어 융합기술, 로컬디밍 및 영상제어기술 등 대면적 고효율, 저전력, 초박형 BLU 시스템 개발, (3) LED조명 인프라 기반 환경 측정기술, 지능형 인터랙티브 LED조명기술, LED조명기반 실내 측위기술 등 LED조명 인프라 기반 인터랙티브 조명 상용화, (4) 이를 실현하기 위한 10W



〈그림 17〉 LED-IT 융복합 기술: 자동차, LCD, 기타 IT 응용

급 COP LED array, Nano 및 integrated LED 기술을 이용한 180 lm/W급 수직형 LED기술개발 등을 추진하고 있다.

3. LED-해양 융복합 기술 동향

LED의 해양 분야에서의 융복합 기술의 목표는 LED조명을 이용하여 조선산업에 고급 LED 조명의 도입, 수산자원의 인공양식, 해양에 영향을 받는 도시조명의 고품격화 등을 추진하는 것으로 2010년도에 부산을 중심으로 거점이 형성되어 본격적인 기술개발과 상용화가 추진될 전망이다.

기술개발로는 크루즈선, LNG선, 잠수함 등 선박용 특수 LED조명기기, 항로표지, 도등, 등대, 해안경관조명, 적조, 녹조, 해양환경방제, 집어등, 인공어패류 및 조류의 인공양식, 발라스터수정화 등이 연구개발 될 전망이다.

해양환경 하에서는 육상과 달리 염분과 습도가 높으므로 방염, 방습, 방진(振), 방유(油), 방진(塵), 방폭 기능의 LED 조명기기의 설계 및 제조가 필요하다.

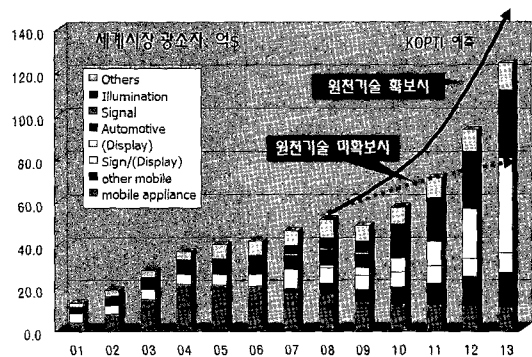
VI. LED 산업의 시장 동향

마지막으로 LED 산업의 시장이 전망에 대해 간략히 논의하고자 한다.

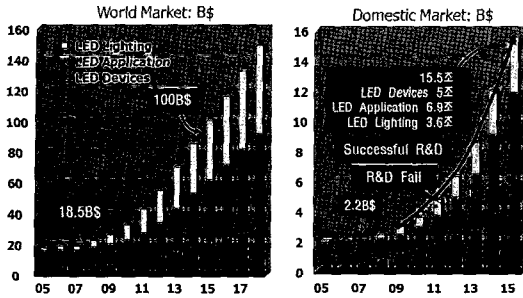
미국 Strategies Unlimited사는 2009년 2월 <그림 18>과 같은 LED광소자 시장 현황 및 전망을 발표하였다. 2008년 세계 LED광소자 시장은 52억\$에 도달했으며, 우리나라 LED BLU를 채용한 LCD TV 상용화의 영향으로 인해 Strategies Unlimited사는 2009년 9월 2009년 세계시장 전망치를 당초 48.6억\$에서 58억\$로 전망하였다.

세계 전통 조명시장은 2007년 633억\$, 2015년 943억\$에 도달할 전망이다. 2007년 8월 미국 OIDA(광전자산업진흥회)는 반도체조명 시장이 2016년 약 500억\$에 도달할 것으로 전망하였으며, 이 중에서 84%는 LED조명, 16%는 OLED조명이 차지하게 될 것으로 전망했다. LED 융복합 시장에서 휴대전화는 2006년 이후로 포화되어 감소추세에 있으나 LCD, 자동차, 기타 IT응용 분야에서 LED의 융복합 응용시장이 증가되고 있다.

LED·반도체조명학회에서는 2008년 8개월 동안 50여명의 국내 LED전문가가 참여하는 LED



〈그림 18〉 세계 LED광소자 시장 전망

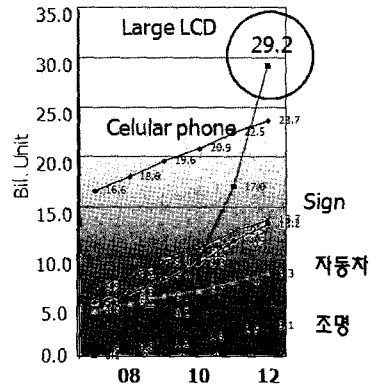


〈그림 19〉 세계 및 국내 LED산업 시장 전망

신성장동력 추진단 운영을 통하여 각 분야별 시장전망을 분석하여 <그림 19>와 같은 세계 LED 시장 전망을 발표하였다. 시장조사 결과에 의하면 우리나라는 2007년 2.2조원의 국내생산을 달성하였고, 2009년에는 국내 113개 기업의 LED매출액이 2.6조원으로 설문조사된 바 있다. 113개 산업체의 2012년 매출전망은 8.9조원 목표이며, 향후 5년간 약 3조원 이상의 과감한 투자와 2만명의 인력고용을 추진하고 있는 것으로 나타났다.

2009년 우리나라가 세계 처음으로 LED BLU를 채용한 LCD TV를 상용화한 이후 이 제품 시장은 우리나라가 95% 이상 세계시장을 선점하고 있다. 2010년 2월 디스플레이뱅크가 발표한 자료에 의하면 2010년 삼성전자는 약 35백만대의 LCD TV 생산 중 약 10백만대(29%), LG전자는 23~25백만대 중 5~7백만대(25%)를 LED BLU를 채용한 LCD TV로 생산하여 일본과 대만의 추격을 뿌리치고 세계시장에서의 압도적 우위를 지속적으로 선점할 전망이다. 이에 따라 세계 LED 산업은 2008년 불황으로부터 2009년 호황으로 국면 전환되었으며, <그림 20>과 같이 LED 수요의 폭발적 증가가 향후 수년간 지속될 전망이다.

우리나라는 LED 광소자와 LCD BLU 융복합



〈그림 20〉 분야별 세계 LED칩 수요 전망

조명 시장에서 대규모 시장을 보유하고 있으며, LED조명 분야에서는 우리나라가 2006년부터 세계적으로 선도적인 표준화 작업과 신뢰성 인증기반의 확보 및 기술개발을 추진해 왔기 때문에 일본 등의 LED조명 소비시장에서 소비자들에게 한국제품의 선호도가 비교적 높은 편에 속한다.

이로 인해 향후 우리나라의 LED산업은 기술 혁신 노력이 지속된다면 LED분야 산학연 전문가들의 네트워킹과 협동연구 속에서 2015년 15조원의 매출 달성 가능성이 매우 높다고 전망된다. 우리나라 LED산업이 과거 80년대의 실리콘과 90년대의 LCD산업과 같이 우리나라의 국부를 창출하는 효자산업으로 성장할 수 있도록 지속적이고 원천성 있는 기술개발 노력이 지속되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 유영문 등, LED산업 경쟁력 분석 및 성장동력화 방안 연구 보고서, 정보통신정책개발, 08-정책-05, 2008. 12.

- [2] Jong Chan Yoo, Beginning of LED LCD TV Era, 4th Int'l Conf. on LED and SSL(LED 2010), F-XIII-3, Seoul, COEX, Feb., 3-5 (2010).
- [3] Michael Lebby, OIDs solid state lighting technologies and roadmap, (2007. 8).
- [4] DOE, Multi-Year Program Plan FY'09 -FY'15, March, (2009).
- [5] Chang Hee Hong, Role of JUeonbuk LED Fusion Technology Center and Its Strategies, 4th Int'l Conf. on LED and SSL (LED 2010), F-XI-1, Seoul, COEX, Feb., 3-5 (2010).

저자소개



유 영 문

1974년 3월~1981년 2월 고려대학교 공과대학 재료공학과 학사

1981년 3월~1983년 8월 고려대학교 재료공학과 석사

1987년 3월~1994년 2월 고려대학교 재료공학과 박사

2001년 2월~현재 부경대학교 석좌교수

2001년 4월~2001년 1월 한국광기술원 수석연구원, 한국광기술원 반도체광원 시험생산센터장 겸 반도체조명 기술혁신센터장

2004년 6월~2007년 6월 LED사업단장, LED/반도체조명 연구부장 역임

1984년 3월~2001년 4월 한국화학연구원 책임연구원

1999년 10월~1999년 11월 러시아과학원 일반물리연구소 방문연구원

1997년 7월~1997년 9월 러시아과학원 일반물리연구소 방문연구원

1996년 10월~1996년 12월 러시아과학원 일반물리연구소 방문연구원

1995년 4월~1996년 3월 일본 도호쿠(東北)대학 금속재료연구소 객원연구원

주관심 분야 : LED