

조명용 OLED 핵심기술 동향 및 전망

이영구 <철원플라즈마산업기술연구원 책임연구원>

이계한 <철원플라즈마산업기술연구원 책임연구원/팀장>


1 서 론

최근 전 세계적으로 녹색성장 및 에너지 산업에 대한 관심이 높아지면서 에너지 소비의 약 19(%)를 차지하고 있는 조명산업에서도 고효율 친환경의 새로운 광원의 필요성이 요구되고 있다. 이러한 노력의 일환으로 백열등은 낮은 효율로 인하여 사용이 규제되고 있는 추세이며, 수은과 납이 함유되어 있는 형광등의 경우도 중금속 사용규제(WEEE, RoHS)로 인하여 점점 사용이 제한될 전망이다. 이와 같이 환경친화적인 신광원의 필요성으로 인하여 LED(Light Emitting Diode), OLED(Organic Light Emitting Diode)와 같은 반도체 조명에 대한 개발이 확대되고 있다. OLED는 LED와 명칭은 유사하지만 제조방법 및 특성에서 큰 차이가 있다. 특히, OLED는 점광원인 LED와 달리 두께가 얇은 면광원의 형태를 가지며, 기존의 광원들이 구현하기 어려운 유연하고 투명한 형태를 구현할 수 있다. 또한, 하나의 광원에서 색온도를 조절할 수 있는 색가변 광원(Color-tunable Lighting)이나 3차원 형태의 광원(3-D Lighting)은 미래에 새로운 패러다임을 제시할 수 있을 것이다.

이와 같이 OLED에 대한 무한한 가능성 때문에 미

국, 유럽, 일본 등에서는 수년전부터 적극적인 연구 개발이 진행되고 있다. 먼저, 미국에서는 에너지국(Department of Energy: DOE) 주관으로 1999년부터 2020년까지 차세대 반도체조명 프로그램을 통하여 LED, OLED 조명에 대한 개발을 진행하고 있다. GE, UDC 등이 중심이 되어 2020년까지 1,000(cd/m²) 휘도에서 효율 200(lm/W)와 수명 5000 시간을 목표로 하고 있다. 유럽은 2004년도부터 시작한 OLLA(Organic LED for Lighting Application) 프로젝트에 이어 2008년부터 2011년까지 OLED100.eu 프로젝트를 중심으로 OLED 조명에 대한 개발이 진행되고 있다. OLED100.eu 프로젝트에서는 1000(cd/m²)의 휘도와 1(m²)의 면적에서 효율 100(lm/W), 수명 100,000시간, 제조단가 100(Euro/m²) 등을 목표로 하고 있으며, 대표적인 조명기업인 필립스와 오스람 및 Siemens, Novaled 등이 참여하고 있다. 일본의 경우 2004년부터 2011년까지 신에너지 산업기술 종합개발기구(New Energy and Industrial Technology Development Organization: NEDO) 주관으로 BLU 및 조명용 OLED 광원 개발을 목표로 미쓰비시중공업과 IMES 등을 중심으로 개발을 진행하고 있다. NEDO 프로젝트에서는 5000(cd/m²)의 휘도

표 1. 조명용 광원별 특성 비교

구분	광원형태	광원효율 (lm/W)	면광원화 수단	기구의 광이용효율 (%)	면광원효율 (lm/W)	염색성 (CRI)	수명 (시간)	단가 (\$/klm)
백열등		20	-	-	-	100	1,000	1
형광등		100	확산판	50	50	80~85	20,000	10
LED		100	도광판	30~70	30~70	80	100,000	100
OLED		100 (가능성)	불필요	100	100	>80	>20,000	20

* 자료 : D.O.E. Solid-State Lighting Research and Development (2009. 9)

와 14×14(cm)의 면적에서 효율 20(lm/W), 반감수명 10,000 시간을 목표로 하고 있다. 국내의 경우 2006년부터 정부의 지원 하에 조명용 고효율 OLED 면광원, 저가형 광원, 감성조명용 광원개발을 위한 프로젝트가 생산기술연구원, 성균관대, 한국전자통신연구원(ETRI) 주관으로 수행되고 있다. 특히, 생산기술연구원 주관으로 2013년까지 진행 예정인 고효율 OLED 면광원 개발 프로젝트의 경우 1000(cd/m²)의 휘도에서 효율 100(lm/W), 수명 20,000시간의 특성을 가지는 저가격화가 가능한 OLED 면광원 개발을 목표로 하고 있다.

2. OLED 조명의 핵심기술

OLED 조명의 상용화에 있어서 시급하게 해결해야 할 중요한 핵심기술로는 고효율 발광기술, 장수명화 기술, 저가격화 기술의 세 가지 분야로 크게 분류할 수 있다. 여기에서는 이러한 핵심기술에 대하여 조금 더 상세하게 다루어 보고자 한다.

2.1 고효율 발광기술

고효율의 OLED 면광원을 개발하기 위해서는 그림 1에 표현되어 있는 바와 같이 소재의 성능향상, 고효율 소자기술, 광추출 효율향상에 대한 부분이 모두 고려되어야 한다. 먼저, 소재의 경우 형광소재와 인광소재로 구분할 수 있다. 형광소재의 경우 수명을 포함한 소자의 안정성 측면에서는 우수하지만 이론적인 내부 양자효율이 25(%)에 해당하여 고효율을 얻는데 한계를 존재하며, 인광소재는 내부양자효율이 100(%)로 형광소재에 비해 효율이 4배가 높지만 현재까지는 안정적인 청색소재가 없다는 문제점을 가지고 있다. 이러한 두 가지 소재의 단점을 보완하기 위하여 현재 상용화를 목표로 개발 중인 대부분의 OLED 면광원들은 적색과 녹색은 인광소재를 적용하고 청색은 형광소재를 적용한다.

다음으로, 고효율의 백색 OLED 소자는 조명용 광원의 핵심 기술로서 구조에 따라서 단일 발광층 구조, 적층(stack) 구조, 수평(horizontal) 구조, 색변환 구조로 나눌 수 있다. 일반적으로 제조가 용이하고 고

특집 : 차세대 OLED 조명기술의 동향과 전망

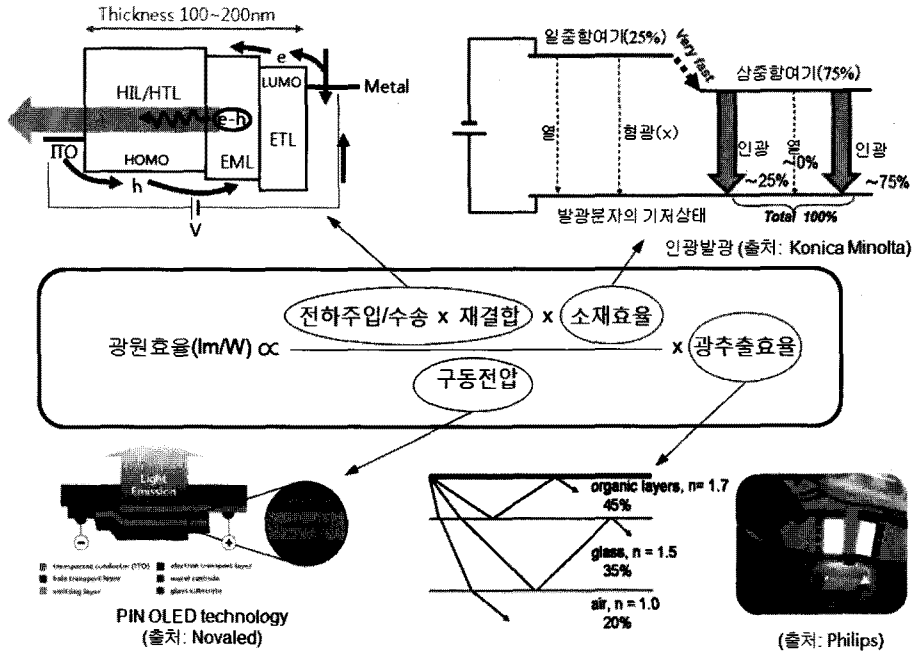


그림 1. 고효율 OLED 면광원 개발을 위한 핵심기술

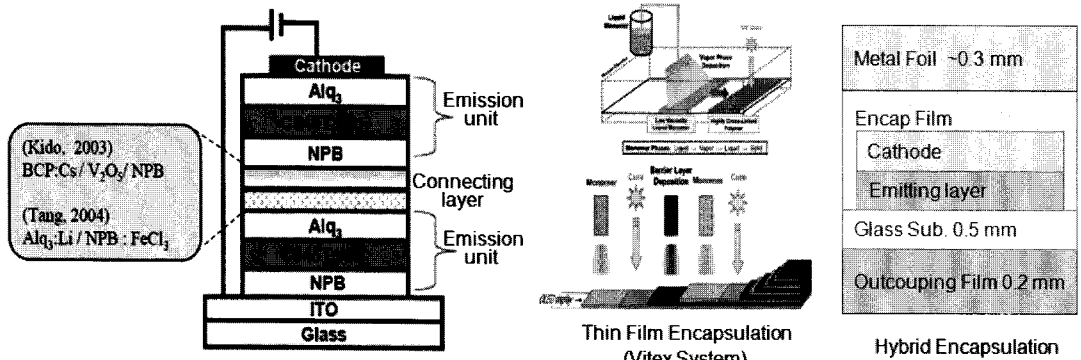
효율을 얻기 위하여 청색 인광소재와 적색/녹색 형광 소재가 적층된 구조인 하이브리드(hybrid) 백색 OLED 소자 방식이 사용되고 있다. 조명용 OLED 소자의 효율을 높이기 위한 다른 방법으로는 소자의 구동전압을 낮추는 PIN 도핑기술이다. PIN 도핑기술은 양극과 정공주입층 간의 주입장벽을 낮추기 위하여 정공주입층을 p-type으로 도핑시켜 음성(Ohmic) 접합을 만들며, 음극과 전자층 사이에는 n-type으로 도핑된 전자층을 도입하여 음성 접합을 만들 수 있다. 그러나, PIN 도핑기술의 경우 구동전압을 낮추어 주는 장점은 존재하나 현재까지 도판트(dopant)의 안정성 및 공정 신뢰성이 떨어지는 문제점이 존재하여 양산에 적용하기는 어려운 실정이며, 새로운 해결 방안을 위한 연구가 필요한 실정이다.

마지막으로, OLED 면광원의 현재 효율을 약 2배까지 향상시킬 수 있는 방안의 하나가 광추출 향상기술이다. 일반적으로 배면발광(bottom emission)

OLED는 외부로 나오는 광량이 대략 20(%)정도만 사용되고, 투명전극과 유기층 사이에서 waveguide 모드로 약 45(%)와 기판의 전반사로 인하여 약 35(%) 정도가 손실되고 있다. 이러한 손실을 최소화하기 위하여 소자 내부에 굴절율이 낮은 기능층을 투명한 양극전극과 기판사이에 삽입하거나 micro-cavity 층 또는 빛을 scattering하는 층을 삽입하여 전반사로 인한 빛 손실을 줄일 수 있다. 또한, 소자의 부의 유리기판에 outcoupling film 또는 microlens array film을 부착하여 광추출효율을 향상시킬 수 있다. 향후 이러한 광추출효율 향상기술이 상용화되기 위해서는 낮은 가격으로 제조가 용이한 외광필름 개발에 대한 연구가 더욱 필요한 상황이다.

2.2 장수명화 기술

OLED 면광원이 일반조명으로 사용되기 위해서는



(a) Tandem OLED 구조 (출처: Kido SID'08)

(b) 장수명화를 위한 봉지기술

그림 2. OLED 면광원 장수명화를 위한 핵심기술

색안정성과 높은 연색성을 유지하면서 장수명 특성을 확보하기 위하여 장수명 소재를 바탕으로 소자구조와 봉지기술에 대한 개발이 시급하다.

먼저, 소자 구조측면에서는 유기물/유기물과 유기물/전극 계면에서의 열화 특성에 대한 개선이 필요하다. 이러한 측면에서 Tandem 구조의 OLED는 조명용 백색 OLED의 장수명화를 위한 좋은 예로 볼 수 있다. Tandem OLED는 다층 유기발광소자들을 도핑된 p-n 접합구조방식을 이용하여 직렬로 연결하여 제작 할 수 있다. 이 경우 발광효율 및 구동전압은 연결된 발광 개체들의 개수에 비례하여 증가되며, 형광 및 인광 발광층을 이용할 경우 각각 32와 132(cd/A)의 높은 수치를 획득할 수 있다. [Polym. Int. Vol. 55, pp. 572-582, 2006.] Tandem OLED는 전류효율(cd/A) 측면에서는 우수하지만 전압이 비례하여 증가함에 따라 광원효율(lm/W) 측면에서 장점은 거의 없지만, 동일한 휘도를 얻는데 단층형 소자에 비하여 적용되는 소자의 수에 반비례하여 전류가 감소하기 때문에 수명 향상을 이끌어 낼 수 있다. 그러나, 앞에서 설명한 바와 같이 p 도핑된 정공층과 n 도핑된 전자층의 안정성과 공정신뢰성이 확보되어야하며, 기존 구조에 비하여 적용되는 유기

물의 수가 많기 때문에 재료의 사용량 및 장비 투자비가 증가하기 때문에 상대적으로 광원의 가격이 비싸지는 문제점이 존재한다.

다음으로, OLED 면광원의 장수명 특성을 확보하기 위하여 OLED 소자를 외부로부터 유입되는 산소나 수분으로부터 보호하는 봉지기술이다. 현재까지 상용화되어 있는 봉지기술로는 유리봉지(glass encapsulation) 기술이 일반적이나 내부에 존재하는 비활성 기체로 인한 방열구조를 적용하거나 유연한(flexible) OLED 면광원을 제작하는 것은 불가능하다. 따라서 현재 얇은 박막을 사용하는 박막 봉지(thin film encapsulation) 기술이 각광을 받고 있다. 대표적인 박막 봉지기술로는 Vitex사에서 개발한 Al₂O₃와 Polyacrylate의 유/무기 다층 박막 봉지구조로 11층을 적층할 경우 투습 특성(water vapor transmission rate: WVTR)이 10⁻⁶[g/m²/day] 이하로 수분 침투 방지 기능은 우수하지만 대면적에서 열을 효과적으로 방출하기에는 한계가 존재한다. 이러한 한계를 해소하기 위하여 열전도성이 우수한 금속박막 등을 접착시키거나 봉지하는 하이브리드(hybrid) 봉지 방법 등이 제안되고 있다. 일본의 Lumiotech사는 패널에 열전달 시트, 메탈 플레이트,

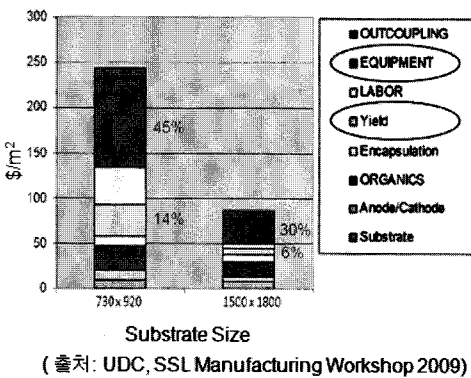
특집 : 차세대 ΔLED 조명기술의 동향과 전망

방열 시트를 순차적으로 부착하는 방열 기술을 개발하여 5,000(cd/m²)의 고휘도에서도 패널 동작이 가능하다는 것을 선보였으며, 일본의 Tohoku device 사는 박막 봉지구조에 메탈 방열필름이 부착된 방열 봉지기술을 개발하였다.

2.3 저가격화 기술

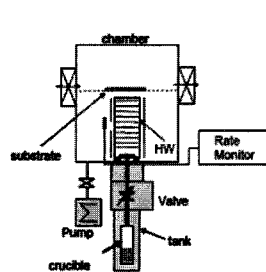
OLED 조명의 제조원가에 대한 경쟁력을 확보하기 위해서는 고생산성의 공정장비 개발, 부품소재의 가격 절감, 수율 향상이 이루어져야 한다. 그림 3에서 보는 바와 같이 현재 조사된 OLED 조명의 원가 예상치를 살펴보면 공정장비가 가장 큰 비율을 차지하고, 수율에 이어 부품소재에서는 유기소재, 봉지재료, 광추출, 기관 순으로 나타나고 있다. 즉, OLED 조명의 가격 경쟁력을 확보하기 위해서는 원재료 가격 경쟁력 확보와 동시에 가격에 상당 부분 포함되어 있는 고정비 비율을 감소를 위해서 고생산성을 기초로 하는 양산 장비 구성이 반드시 필요한 실정이다. 이러한 저가격 대면적 공정장비를 개발하기 위해서는 대면적 증착장비 기술, 고소비율의 유기소재 증착원 기술, 대면적 기관 물류 기술, 저가 패턴 형성 공정 기술이 필요하다. 현재 OLED 디스플레이 소자의 경우 클러스

터방식(cluster type)의 장비가 개발되어 사용되고 있으나, 고생산성을 요구하는 OLED 조명원을 제품화하기 위해서는 인라인방식(In-line type) 공정 장비가 적합하다고 볼 수 있다. 최근에, 마쓰시다중공업, 코닥 등에서는 유기소재 소비효율이 50~70(%)인 증착장비 및 증착원의 개발이 이루어진 것으로 보고되고 있으며, 파나소닉 전공은 재료이용효율이 70(%)이면서 증착속도가 8(nm/sec)로 우수한 형태의 Hot-wall 시스템을 개발하였다. 이외에도 장기적으로는 Dupont에서 추진중인 Solution 기반의 재료를 이용한 공정을 개발과 GE에서 개발하고 있는 Roll to Roll(R2R) 공정이 차세대 해결책으로 제시되고 있으나 실제 양산에 적용하기 위해서는 소재 자체의 검증 및 공정에 대한 부분의 많은 연구가 이루어져야 한다. 다른 한편으로는 OLED 조명의 제조원가를 낮추기 위하여 소자의 수율을 향상시키기 위한 노력이 이루어지고 있다. 소자의 불량은 대부분 음극과 양극간의 단락(short)에 기인하며, 이러한 원인 중 기관 자체의 파티클(particle)이 약 60(%), 포토리소그래피(photolithography) 공정 중에 발생한 파티클에 의한 영향이 약 30(%), 유기 증착 중에 발생하는 파티클에 의한 영향이 약 10(%)를 차지한다.

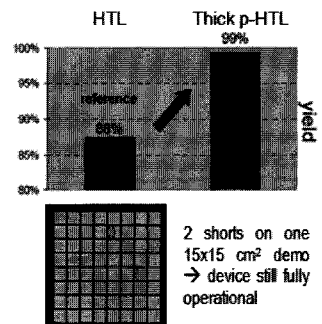


(출처: UDC, SSL Manufacturing Workshop 2009)

(a) 기관크기에 따른 OLED 조명의 제조원가 비교



Hot-Wall System (출처: Panasonic Elec.)



(출처: Novaled, 2009)

(b) 제조원가 절감을 위한 요소기술

그림 3. OLED 면광원 저가격화를 위한 방안

따라서 각 공정에서 발생하는 파티클의 제어가 수율에 절대적인 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 이러한 파티클에 의한 불량률 제거를 위하여 기판자체의 ITO 표면을 연마하여 파티클을 제거하고, 유기층의 두께를 증가시켜 불량발생을 감소시키거나 대면적 OLED 조명에서 불량이 발생하더라도 단락이 발생한 배선이 타서 전기적으로 open되는 회로 형태로 변환되는 전극 구조를 채용하여 소자의 수율을 증가시킬 수 있다.

3. OLED 조명의 사업화전망

OLED 조명 시장은 2009년 약 US\$ 3million를 시작으로 6년간 연평균 약 197.7(%) 성장하여 2015년에는 US\$ 2,090million 규모로 폭발적인 성장을 나타낼 것으로 예상된다. 이러한 시장전망을 바탕으로 현재 OLED 조명을 사업화하기 위한 노력이 기존 조명 사업을 가지고 있는 Osram, Philips, GE 등에서 적극적으로 개발 및 투자를 진행하고 있으며, 이외에도 신규로 OLED 조명을 위하여 설립된 업체 등 다양한 산업체들이 OLED 조명 산업에 참여하고 있다. 그림 4는 각 산업체들의 조명시장 양산 계획을 나타낸 것으로 대부분 2010년에서 2011년 사이에 대량생산으로 시장에 진입할 것을 계획하고 있으며, 2012년 경에는 이러한 양산계획을 바탕으로 시장이 본격적으로 형성될 것으로 예측하고 있다.

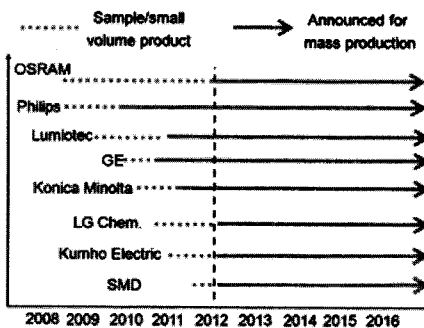
각 주요 업체별 OLED 조명의 상용화 전략을 살펴보면 다음과 같다. GE는 2008년 3월 세계 최초로 Roll to Roll 제조 공법을 적용한 OLED 조명 개발에 성공하였으며, 2010년부터 종이 두께의 플렉서블 OLED 조명 패널을 양산한 계획을 세우고 있다. GE는 색온도 3,000~6,000[K], CRI 80 이상, 효율 100(lm/W) 이상, 1,000(cd/m²)에서 수명 20,000시간, 제조단가는 \$6/Klm 이하의 OLED 조명 개발을 장기적인 목표를 잡고 있다. OSRAM은

LED와 OLED가 미래 조명 시장의 2가지 큰 축이 될 것으로 보고, 단계적으로 LED에 먼저 집중하고 2~3년 후에 LED에서의 노하우를 OLED에 활용한다는 계획을 가지고 있다. OSRAM은 OLED조명의 디자인을 강조하여 2008년 하반기 일본에서 열린 'CEATEC 2008'에서 세계적인 조명 디자이너 Ingo Maurer와 합작하여 OLED 조명을 개발(효율 46(lm/W) @1,000(cd/m²))하여 공개하였으며, 2011~2012년에 판매를 목표로 하고 있다. Philips는 유럽의 연구 컨소시엄인 OLED100.eu 프로젝트에 참여하여 저분자 재료를 이용한 OLED 조명 개발에 집중을 하고 있으며, 향후 OLED 조명은 기존 벌브 개념이 아닌 시스템 조명의 형태가 될 것으로 보고 있다. Phillips 역시 OLED 조명 사업 전략을 디자인 경쟁력에 우선순위를 두고 있으며, 2009년 이탈리아 밀라노 디자인 위크에서 사용자의 동작에 직접적으로 반응하는 새로운 OLED 인터랙티브 조명을 선보였다. Konica Minolta는 2006년 당시 휘도 1,000(cd/m²)에서 수명 10,000시간에 발광 효율이 64(lm/W)의 세계 최고 효율을 가진 백색 OLED 조명 개발에 성공하였다. 2009년에는 약 30억엔의 투자 계획을 발표했으며, 2010년 가을에 파일롯라인을 설치하고 양산 기술을 확보할 예정이다. Konica Minolta의 생산전략은 인광발광재료를 이용한 고효율 장수명 소자를 이용하여 연속도포 공정과 유연한 기판을 이용한 저가격 고효율 제조 기술을 전략으로 하고 있다. Lumitotec은 2008년 자본금 7억엔으로 미쓰비시 중공업이 51(%), 롬이 34(%), 미쓰이 물산이 5(%)를 출자하여 만든 회사로 OLED 조명 업계에서는 주도적인 역할을 하고 있다. OLED 조명 뿐만 아니라 양산 장비도 자체적으로 개발 중이며, 휘도 5,000(cd/m²)에서 수명 10,000시간의 백색 OLED 개발을 목표로 진행하고 있다. 2011년 일본 조명 시장의 20(%)를 OLED 조명이 차지하도록 하겠다는 야심찬 목표를 세우고 있다. Tohoku

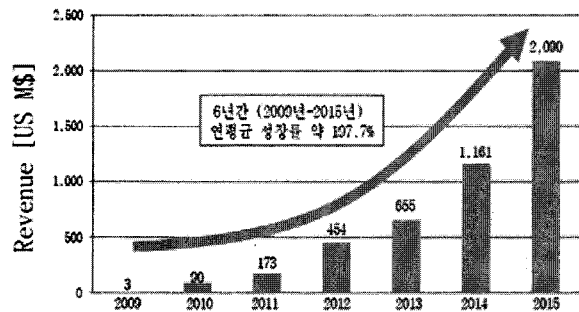
특집 : 차세대 ΔLED 조명기술의 동향과 전망

Device는 음향기기 수탁 생산을 주력으로 하는 에스엠에스 그룹에서 분사한 OLED 패널 전문 업체로 2006년 세계에서 최초로 백색 OLED 패널 시생산을 성공하였다. 2009년부터 백라이트와 특수 조명 분야를 목표로 본격적인 양산을 개시하여, 2009년 4월 소면적 OLED 생산을 개시하여 파나소닉 전공에 OLED 광원 납품을 시작하였다. 파나소닉 전공은 현재 일본 내의 일반 조명 시장 점유 1위의 조명 기업으로 2009년 일본 신에너지 산업기술개발 종합기구(NEDO)가 추진하고 있는 OLED 과제의 주관기업으로 선정되어 개발을 진행하였다. 2010년 현재 CRI 90이상, 효율 37(lm/W), 휘도 1,000(cd/m²)






에서 수명 40,000시간 이상을 확보하였다. 공정측면에서도 저가격화를 위하여 증발원의 재료이용 효율을 70(%)이상 확보하였으며, TAZMO사와 정공주입층의 슬릿코팅 기술을 공동으로 개발하고 있다. 국내의 경우 삼성모바일디스플레이(SMD)에서 2009년 하반기 부산 PMOLED 생산 라인을 활용하는 OLED 조명 양산계획을 밝힌 바 있으며, 고급 인테리어 건물을 대상으로 한 감성 조명 위주의 사업을 추진할 방침이다. LG화학은 2008년 3월 OLED 재료 특허 보유 업체인 미국의 UDC와 제휴를 맺어 고효율 OLED 소자 구조 공동 개발에 합의하였으며, 2009년 LG화학 기술원을 바탕으로 OLED 조명 시장에 대한 진출



(a) 주요 조명회사의 사업화 전망 (출처 : Display search , 2009)



(b) OLED 조명 시장 전망 (출처 : 유비산업리서치, 2009)

구분	크기 가로(mm) x 세로(mm)	두께 (mm)	무게 (g)	가격	CRI	효율 (lm/W)	수명(시간) @1000 cd/m ²
Philips	 47.4 x 43.7	1.8	-	€ 72	-	>20	10,000
	 127.9 x 54.7		-	€ 248	-		
	 Ø69.9		-	€ 135	-		
OSRAM	 90X90 (발광면적: Ø79)	2.43	24	\$376.50	80	23	>5,000
Lumiotec	 145X145 (발광면적: 125X125)	4.1	195	¥84000	80	25	30,000

(c) 현재 판매중인 OLED 조명의 사양 비교

그림 4. OLED 조명의 시장전망 및 사업화 전망

을 본격화하였다. LG화학은 2011년 OLED 조명 양산을 계획 중에 있으며 이를 위해 장비전문업체와 함께 장비를 개발 중에 있는 것으로 알려져 있다. 금호전기는 지식경제부 전략기술개발사업인 'OLED 기술을 이용한 조명용 면광원 기술개발'의 세부사업인 '초슬림 면광원을 이용한 보조조명 기술개발'을 주관으로 진행하고 있다. 금호전기는 현재까지 광원 사업보다는 OLED 조명기기(등기구) 위주로 사업 검토를 하고 있다.

4. 맺음말

최근에 녹색성장 및 에너지 산업의 신성장동력화가 가속화되면서 조명산업 또한 기존의 조명에서 LED, OLED를 기반으로 한 반도체조명(Solid State Lighting)으로 진보되고 있다. OLED 조명은 LED 조명과 비교하여 인간친화적이고 감성적인 광원으로 시장에 진입할 것으로 기대되며, 향후 백열등과 형광등의 빈자리를 채워갈 것으로 예측된다. 그러나, OLED 조명의 조기 상용화를 위해서는 고효율 발광 기술, 장수명화 기술, 저가격화 기술에 대한 핵심기술 확보가 필수적이라고 할 수 있다. 이러한 핵심기술의 확보를 위하여 정부의 적극적인 지원과 더불어 학계와 산업체가 힘을 모아야 할 것이다. 향후 OLED 조명에 대한 지속적인 기술개발과 제품의 완성도가 높아질수록 OLED 조명은 조명문화의 패러다임을 바꿀 수 있을 것으로 기대되며 통신기술, 태양전지, 3차원 기술 등의 여러 가지 응용 기술과 접합하여 새로운 미래 조명 시장을 창출할 것으로 확신한다.

참 고 문 헌

(1) 電子工學會誌, "OLED Display and Lightings", 第35卷, 第8號, pp. 49~59, 2008. 8.
 (2) 정보통신연구진흥원, "OLED 시장 동향 및 개발 현황", 1356호, pp. 14~26, 2008. 7.
 (3) IT SoC Magazine, "OLED 조명 산업동향 및 향후 전망", pp.

20~25, 2009. 9.
 (4) 충남테크노파크 디스플레이센터, "OLED 조명기술 현황 및 전망", 89호, 2009. 6.
 (5) 인포메이션 디스플레이, "OLED 광원기술", 제10권, 제6호, pp. 16~25, 2009.
 (6) 인포메이션 디스플레이, "조명용 백색 OLED", 제10권, 제4호, pp. 31~41, 2009.
 (7) 전자통신동향분석, "OLED 조명 기술 동향", 제24권, 제6호, pp. 22~31, 2009. 12.
 (8) Electronic Parts & Components, "백색광을 이용한 OLED 조명기술", pp. 62~67, 2006. 01.
 (9) Techno-Leaders'Digest, "OLED 조명, 녹색 혁명의 새로운 주역", 제226호, pp. 7~8, 2010. 01.
 (10) 한국화학연구원, "OLED 조명용 소재", pp. 3~16, 2010. 01.
 (11) 공업화학 전망, "백색 OLED 기술 현황", 제10권, 제2호, pp. 21~29, 2007.

◇ 저 자 소개 ◇



이영구(李煥九)

1973년 1월 31일생. 1998년 2월 아주대학교 물리학과 졸업(석사). 2009년 2월 아주대학교 영상표시학과 졸업(박사). 현재 철원플라즈마산업기술연구원 책임연구원. 2005~2009년 삼성전자 재료소재연구소 전문연구원. 2003~2005년 네스디스플레이 전임연구원. Society for Information Display 및 한국정보디스플레이학회 평의원/정회원. 한국산학기술학회 및 한국전기전자재료학회 정회원. 한국조명전기설비학회 정회원.
 관심분야 : OLED 디스플레이 및 조명, OLED 광추출 등
 E-mail : free209@hanmail.net



이계한(李桂韓)

1967년 1월 27일생. 1986~1992년 부산대학교 전자공학과 졸업. 1993~1995년 부산대학교 전자공학과 대학원(석사). 1995~1997년 하이닉스반도체 멀티미디어연구실 주임연구원. 1997~2000년 고등기술연구원 전자재료연구실 선임연구원. 2005~2008년 네오뷰코오롱 OLED 기술기획팀 부장. 한국조명전기설비학회 정회원. 2010년 현재 철원플라즈마산업기술연구원 플라즈마조명팀 팀장.
 관심분야 : OLED 조명 특성설계 및 분석 등
 E-mail : kyehan@cpri.re.kr