

OLED 조명 기술의 최신 기술 및 장래 전망

Recent Progress and Future Trends of OLED Technologies for Lighting Applications

유병곤 (B.G. Yu) OLED 연구실 책임연구원
이정익 (J.I. Lee) OLED 연구실 실장
추혜용 (H.Y. Chu) 차세대디스플레이연구단 단장

미래 부품소재기술 특집

- I. 서론
- II. OLED의 원리와 특징
- III. OLED의 고성능화를 위한 기술 개발
- IV. OLED 광원 산업 동향
- V. 마무리

* 본고는 출연금 사업, 환경감성 과제, 고연색 유기소재 과제의 수행 과정 중 작성되었음.

OLED 조명은 얇고 가볍고 열이 나지 않은 이점을 가질 뿐만 아니라 형광등 절반의 전력으로 같은 밝기가 구현 가능하여 저전력 조명기구가 가능하게 될 것이다. 또한 태양광에 가까운 균일한 면광원으로 부드러우면서 자연스러우면서 다양한 모양의 등 기구 제작이 가능한 차세대 조명이다. 본고에서는 OLED 조명의 발광 원리와 특징, OLED의 고성능화를 위한 고효율 재료기술, 광추출 기술, 백색 OLED 기술, 봉지기술 등에 관하여 기술하였다. 또한 OLED 광원 산업체의 동향을 한국을 중심으로 일본업체, 대만/중국업체, 미국업체, 유럽업체 순으로 살펴 보았다. OLED 조명은 2020년에 이론적인 발광 효율인 200lm/W가 구현이 되면 일상생활의 조명이 획기적으로 변화되는 사회를 맞을 것으로 기대되므로, 전 세계적으로 시장형성 초기단계이므로 선제적이고 전주기적인 지원을 통하여 시장 선점 및 확대가 필요하다.

I. 서론

1879년 미국의 발명가 에디슨(Thomas Alva Edison, 1847~1931)과 영국의 스완(Joseph Wilson Swan, 1880~1940)에 의해 발명되고, 1910년에 미국의 쿨리지(William David Coolidge, 1874~1975)가 ‘팅스텐 필라멘트 전구’를 발명하여 필라멘트 수명을 대폭 연장시켜 유용하게 사용하게 된 것이 백열전구이다. 이 백열전구는 인류의 삶을 크게 변화시키는 역할을 하여왔으나 이제 역사 속으로 사라지는 운명을 맞이하게 되었다.

산업통상자원부는 2008년 12월에 발표한 백열전구 퇴출 계획에 따라 2014년 1월부터 국내 시장에서 백열전구의 생산과 수입을 전면 중단한다고 최근에 발표하였다[1]. 130년간 사용하였던 백열등을 퇴출한다는 것이다. 백열전구 퇴출은 세계적으로 순차적으로 진행되고 있는데 미국은 현재 100watt와 75watt 백열전구의 생산과 수입이 중단되어 있고, 60watt와 40watt 백열전구도 내년까지 생산과 수입을 점진적으로 중단할 예정이다. 이미 유럽은 상당수의 국가가 생산을 중단하였고 일본, 중국, 러시아도 점진적으로 생산을 중단하거나 줄

이고 있는 중이다.

장기적으로 볼 때 각 조명기구의 소비전력이 증가하는 요인은 별로 없을 것으로 보이나, 조명에 사용하는 전력이 전체 전력 사용량의 20%정도 차지하고 있어서 고효율 조명기술의 개발은 민생용으로부터 산업용에 이르기까지 에너지 사용량 절감에 있어서 중요한 과제 중 하나다.

차세대 고효율 조명기술로서는 LED 기술과 OLED기술이 기대를 모으고 있다. LED 기술은 아직 가격이 비싸지만 급속하게 시장이 팽창될 것으로 보이고 있다. OLED 기술은 초기에는 특수조명, 인테리어 조명 등에 한정되어 사용될 것으로 기대된다. OLED 기술은 유연 광원 기술이 개발이 되면 획기적으로 제조단가를 낮출 수 있을 것으로 기대되므로 장기적인 관점에서 차세대 조명기술로써 매우 유망한 기술이라고 할 수 있다.

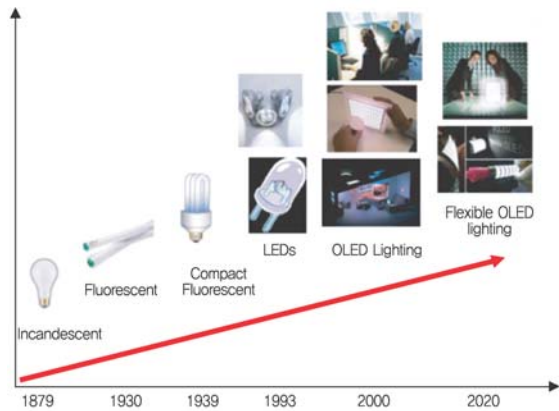
II. OLED의 원리와 특징

조명광원에는 백열전구, 형광등, LED, OLED 등으로

〈표 1〉 각종 광원의 특징 비교

	Incandescent	Fluorescent	LEDs	OLEDs
Efficacy	17 lm/W	100 lm/W	80-120 lm/W: White 65-80 lm/W: warm white	100 lm/W:CRI 70 71 lm/W:CRI 81
CRI	100	80-85	80 - White 90 - Warm white	95 with 40lm/W
Form Factor	Heat generating	Long or compact gas filled glass tube	Point source high intensity lamp	Large area thin diffuse source, Flexible, transparent
Safety Concerns	Very hot	Contains Mercury	Very hot in operation	None to date
LT70 (K hours)	1	20	50	>20 with 68 lm/W >4 with 100 lm/W
Dimmable	Yes, but much lower efficacy	Yes, efficiency decreases	Yes, efficiency increases	Yes, efficiency increases
Noise	No	Yes	No	No
Switching Lifetime	Poor	Poor	Excellent	Excellent
Color Tunable	No	No	Yes	Yes

〈자료〉: Universal Display Corp[2]



(그림 1) 각종 광원 기술의 발전 추이[2]

크게 구분할 수 있다. <표 1>에서 광원들은 보면 역사 속으로 사라질 백열전구는 발광 효율이 17lm/W이고, 열이 발생되며 수명이 짧은 단점들을 가지고 있다. 그리고 지금까지 대표적인 광원으로 사용되어온 형광등은 광효율은 100lm/W로 우수하나 수은 등을 사용하므로 친환경적이 못하며 수명도 비교적 짧은 단점을 가지고 있다. 최근에 그 활용성이 기대되는 LED는 100lm/W의 광효율과 장수명의 장점을 가지고 있고 직진성이 우수하나 눈에 부드러운 특성을 요구하는 인테리어 실내조명 등에는 한계가 있다. 그에 비해 인간친화적이면서 실내 조명등에서는 훨씬 유리할 것으로 기대되는 OLED 광원이 있다. 현재 활발하게 기술 개발이 이루어지고 있는 OLED 광원 기술은 실내조명으로 매력적인 광원 기술이 될 전망이다(그림 1) 참조.

OLED가 빛을 내는 원리는 우리가 자연에서 종종 볼 수 있는 ‘반딧불’이 빛을 내는 원리와 비슷하다(그림 2) 참조). 자연에서 볼 수 있는 반딧불은 발광 물질인 루시페린(luciferin)단백질이 산소(O₂)와 결합하여 산화루시페린(oxyluciferin)이 되면서 빛을 내는데, 이때 반드시 루시페라제(luciferase) 효소와 마그네슘이온(magnesium ions) 그리고 아데노신삼인산(ATP: Adenosine Triphosphate)이 있어야 한다[3].

세포에 산소가 공급되면 아데노신삼인산이 생기고

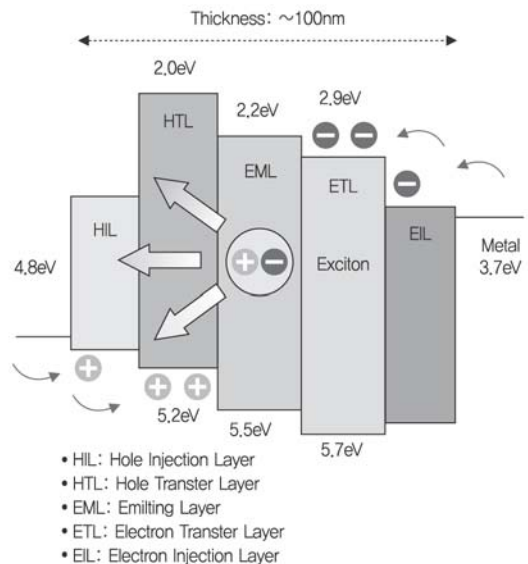


<자료>:
http://navercast.naver.com/contents.nhn?contents_id=1022

(그림 2) 자연에서 볼 수 있는 반딧불

이것과 루시페라아제가 결합하면서 불안정한 상태(excited state)의 고 에너지 물질로 바뀌었다가 안정된 물질로 변화하면서 그 만큼의 에너지 차이로 인해 빛을 내게 된다. 반딧불은 파장 510~670 nm의 황록색의 빛을 낸다.

현재 OLED의 기초가 된 발명은 1987년 미국 Eastman Kodak의 C.W. Tang 등을 통해, 박막 적층형 소자의 제안으로 결실을 맺게 된다[4]. 기본적인 발광 원리는 음극과 양극에 전압을 가하여 각각의 전자와 정공을 주입한다. 주입된 전자와 정공은 전자 수송층 및 정공 수송층을 통과하고 발광 층에서 결합하여 발광한다



<자료>: “휘하보이는 차세대 디스플레이,” 전자신문, p. 88.

(그림 3) OLED 발광 메커니즘

((그림 3) 참조).

조금 더 구체적으로 설명하면 전원이 공급되면 유기 물질인 단분자/저분자/고분자 박막에 음극에서는 전자(-)가 전자 수송층(ETL: Electron Transport Layer)의 도움으로 유기 물질인 발광층(emitting layer)으로 이동하고, 반대편 양극에서는 정공(+개념)이 정공 수송층(HTL: Hole Transport Layer)의 도움으로 발광층으로 이동하게 되어 발광층에서 만난 전자와 정공이 재결합하면서 여기자(exciton)를 형성하고, 여기자가 낮은 에너지 상태로 떨어지면서 에너지가 방출되면서 특정한 파장의 빛이 발생하는 원리이다. 이 때 발광층을 구성하고 있는 유기물질이 어떤 것이냐에 따라 빛의 색깔이 달라지며, R(Red), G(Green), B(Blue)를 내는 각각의 유기 물질을 이용하여 총천연색을 만들어낼 수가 있다. 최근에는 유리나 플라스틱 등 위에 유기물을 도포해서 그것에 전기를 통하게 하면 유기물이 발광하는 OLED를 이용하여 면 조명을 비롯하여 플렉서블 디스플레이, 투명 디스플레이 등에 활용의 연구도 활발하게 진행되고 있다.

III. OLED의 고성능화를 위한 기술 개발

1. 고효율 재료 기술

Tang 등이 제시한 박막 적층형 OLED의 구조는 정공 수송성 방향족 아민으로 전자 수송성 인광 재료를 Alq₃ 아주 얇은 박막을 적층하는 구조로 만들었다. 양극을 투명 전도성의 ITO(Indium Tin Oxide), 음극은 금속 전극으로 하여 유기 적층막을 가운데 끼우는 구조로 하여, 전류를 주입한다. 특징은 크게 3가지인데 첫째, 전류의 흐름이 어려운 절연체인 유기 물질을 수십nm 두께로 박막화 하는 것으로 낮은 전압에서 구동이 가능한 구조로 했다. 둘째, 정공과 전자의 주입, 운송 및 발광을 각각 다른 물질에 있는 고기능 절연 박막 적층 구조를 도

입 했다. 셋째는, 음극 재료에 낮은 일 함수 Mg-Ag를 채택 했다는 것이다. 이 구조는 현재 저분자 OLED 소자 제작의 기초가 되고 있다. 사용된 유기 물질은 저분자계이므로 이 OLED 소자를 저분자계 OLED라고 불리며 통상 4층 또는 5층으로 적층을 해야만 충분한 발광 특성을 얻을 수 있다. 현재 세상에 유통되고 있는 OLED의 대다수가 이에 해당 한다. 저분자계 OLED 연구는 다중화에 의한 기능 분리와 캐리어 제어 등이 진행되고 있고, 구동 전압은 3V로 이론 한계에 가까운 전후까지 낮추는 등 동작 수명이 대폭 향상되었다[5].

반면에, 고분자계 재료를 가진 고분자계 OLED가 있다. 물질의 용액화가 상대적으로 용이하고, 잉크 제트 인쇄 기법을 이용하여 박막 소자를 만들 수 있다. 또한, 1개의 층을 다기능화하여 기본적으로 2층만으로 성능을 낼 수 있어서 저렴한 비용으로 대형 패널 생산이 가능할 것으로 예상되고 있다. 하지만 수명이나 발광 효율 등 성능이 저분자계 보다 열등하기 때문에 실용화는 아직 조금 더 시간이 걸릴 전망이다[6]. 고분자계 OLED 재료는 CDT, Sumitomo화학, 머크 등의 3사가 가장 활발하게 연구개발하고 있다.

저분자 OLED은 음극과 양극에서 주입된 전자와 정공이 전자 수송 층과 정공 수송층을 경유하여 발광층에서 재결합하여 발광층 내의 유기 분자를 자극하여 발광한다. 이 여기전자가 회전하는 방향으로 일중항여기상태 및 삼중항여기상태로 분류된다. 발생 확률은 1:3으로서 형광 재료는 일중항여기, 인광 재료는 펄핑 삼중항여기에서 발광 하는 것으로 전해지고 있다[7].

1990년에 Yamagata대학의 J. Kido그룹은 휘토류금속인 Tb 착화물을 이용한 다중항 여기상태로부터 상온 전계 발광을 세계 처음으로 발표하여 내부 양자효율 100%의 가능성을 제시하였다[8]. 그리고 1996년에 MIT의 Rubner그룹이 Ru 착화물을 이용하여 상온 인광 발광을 관측하였다[9]. 또한 1999년에 미국 프린스턴 대학 그룹이 인광 발광 화합물 이리듐 착화물(Ir(ppy)₃)

을 도펀트 재료로 하여, 카바졸 유도체인 CBP(1,2,4,4-N,N-dicarbazole-biphenyl)를 호스트 재료로 이용하여 상온에서 발광하는 인광 재료를 개발했다[10]. 외부 양자 효율 8%를 기록하고, 특히 녹색 발광 재료는 형광 물질의 약 4배에 해당되는 20%의 값을 나타내었다. 최근에 Kyushu대학의 C. Adachi그룹이 rare metal(희소 금속)을 사용하지 않고 여기삼중항 상태를 발광에 기여하도록 만드는 방법으로 전류여기로 75% 확률로 형성되는 여기삼중항 여기자를 여기일중항 상태로 upconversion시켜서 100%의 내부양자효율을 달성하는 방법을 제안하였다[11]. 이 현상은 열에너지에 의해서 삼중항여기자를 일중항여기자로 upconversion 시키는 것으로서 광화학 분야에서는 옛날부터 E-type delayed fluorescence로 알려져 있다. 열활성화지연형광(TADF: Thermally Activated Delayed Fluorescence)을 나타내는 재료가 최근에 발견되고 있다. TADF 프로세스에서는 일반적으로 흡열반응이기 때문에 그 변환 효율이 낮을 것으로 생각되어 왔지만 실은 분자설계에 의하여 고효율의 지연형광을 얻을 수 있는 것으로 알려지고 있다. 또한 최근에 서울대 김장주 교수그룹은 궁극적으로 200lm/W이상의 광효율을 얻을 수 있는 가능성을 제시 하면서 아주 우수한 특성을 발표하였다[12].

2. 광추출 기술

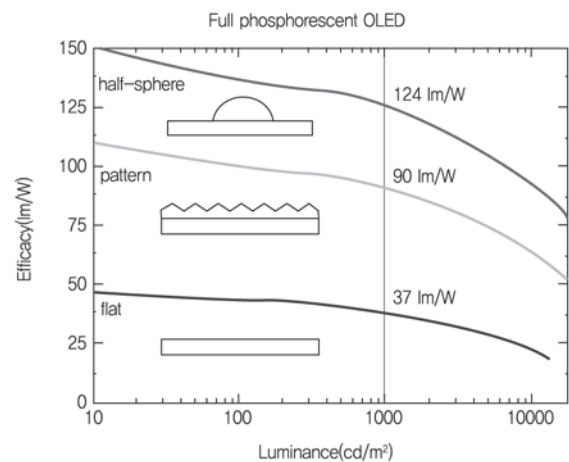
최근 OLED는 유기재료와 소자구조의 개발이 발전되어 전력 효율과 수명이 개선되고 있어서 차세대 조명의 유력한 후보로 되고 있다. 그러나 조명으로 적용하기 위해서는 몇 가지의 과제가 남겨져 있다. 그 중에서도 광추출 기술에 의한 효율 향상이 OLED 조명을 보급시키기 위한 큰 과제로 여겨지고 있다. <표 2>에 광추출 효율을 개선시키기 위한 기술을 정리하여 보았다. 하기의 기술에서 보듯이 기술마다 장단점을 가지고 있다. 고효율 광추출 기술은 매우 중요한 기술 중에 하나다.

<표 2> 각종 광추출 기술

구분	고효율화	시각특성	파장선택	Process
Micro lens	△	○	○	○
Photonic array	○	×	×	×
무반사기판	○	△	○	×
광산란층	△	○	○	○
저굴절율층	△	○	○	○
Microcavity	△	×	△	△
표면 Plasmon	○	×	×	△
고굴절율기판+산란층	○	○	○	△

현재 발생된 빛을 25%정도밖에 외부로 추출할 수 없어서 ~75%의 빛은 내부 혹은 층간에서 소실되고 있으므로 이에 대한 효율을 향상시키게 되면 획기적으로 효율 향상을 기할 수 있을 것이다. 효율향상을 위한 광추출 기술은 다양하게 제안되고 있고, 또한 큰 효과를 얻는 기술도 등장하고 있다. 광추출 기술에는 크게 나누어 보면 광산란, 광굴절 효과를 이용하는 기술이 있고, 회절과 간섭효과를 이용한 기술이 있고, 또한 photonics 효과를 이용한 기술이 있다고 할 수 있다. 광산란, 광굴절 효과를 이용하는 기술에는 광산란 방식, 마이크로 렌즈 방식과 고굴절을 또는 저굴절을 방식이 있다.

(그림 4)에서 보는 바와 같이 드레스덴 공대에서는 표



(그림 4) 드레스덴 공대의 광산란 및 렌즈방식법

면 패턴에 의하여 90lm/W의 효율을 얻었고, 3D의 렌즈를 형성하는 것으로 124lm/W의 효율을 얻고 있다[13].

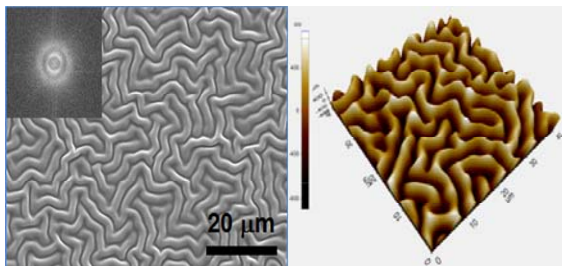
최근에 Panasonic사도 상세 시뮬레이션을 통해 BLES(Built-up Light Extraction Substrate)를 이용하여 MLA(Micro Lens Array)를 보다 광추출이 쉬운 각도 분포에 근접시키는 것에 의하여 114lm/W의 광효율 특성을 얻고 있다[14].

회절과 간섭효과를 이용한 기술은 회절격자방식과 마이크로 케비티 방식이 있다. Toshiba사는 회절격자를 '자기조직화 나노 가공'이라는 기술을 이용하여 2배의 효율을 달성하였다. 수지상에 직경이 수백nm되는 SiO₂ 미립자를 분산액으로 놓아서 추출시키면 특별한 제어를 하지 않아도 상호작용으로 고밀도의 미립자가 형성된다 [15].

ETRI는 유기재료를 UV-경화에 의한 간단한 방법으로 주름 구조 형태의 산란막을 형성하여 기존의 주름 구조가 없는 소자에 비하여 50%이상의 광 양자효율 향상을 달성하고 있다(그림 5 참조). 이 주름 구조는 외부 뿐만 아니라 내부에도 사용이 가능하여 향후에 더 큰 효과를 얻을 것으로 기대된다[16]. 외부광추출 기술만으로는 소실되는 75%의 광을 활용할 수 없으므로 내부에 다양한 광산란, 광굴절 효과를 얻을 수 있는 기술이 개발되어야 한다.

3. 백색 OLED 기술

백색 OLED를 구현하는 기술은 크게 나누면 파장 변

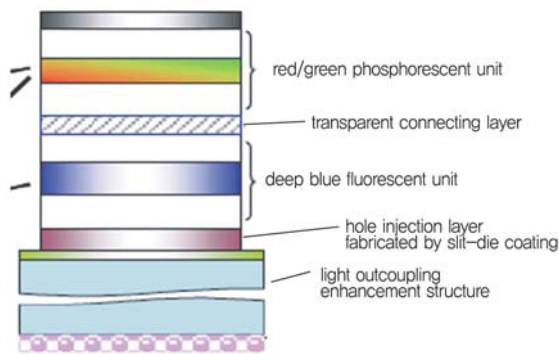


(그림 5) ETRI 주름 구조 산란막의 사진

형(Wavelength Conversion) 방식과 색상 혼합(Color Mixing) 방식이 있다. 파장 변형 방식은 오래전부터 사용해 오던 방식으로써, OLED 소자에서 청색 파장 계열의 광원을 발생시켜서 형광체를 통과하면서 형광체를 여기시켜 백색을 구현하는 기술이다. 색상 혼합 방식은 적색(R), 녹색(G), 청색(B)을 혼합하여 백색을 구현하는 기술이다. 파장 변형 방식은 제작공정이 간단하고 컬러 변환층의 조절로 연색성을 손쉽게 조절할수 있다는 장점이 있고, 색상 혼합 방식은 파장변환에 따른 손실이 없이 고효율의 백색 발광 소자를 제작할수 있다는 장점이 있다.

Yamagata대학의 Kido그룹은 1995년에 R, G, B의 3원색 색소를 진공증착법으로 형성하여 색소 간의 에너지 이동을 제어하는 것으로 백색화를 구현하였다. 동작 전압 15V, 2,000cd/m²의 특성을 가지고 있다[17]. 최근 연구개발에서는 전인광을 사용하는 것과 효율과 수명에서 성능이 아직 충분하지 않은 청색을 형광으로 사용하는 기술이 있다. UDC사는 광추출 기술을 이용하여 전인광 기술로 1,000cd/m²에서 102lm/W의 높은 효율을 달성하고 있다[18].

Panasonic사는 고품질의 고 CRI(Color Rendering Index) 백색 발광소자를 얻기 위해서, 여러 특성의 재현성을 고려하여 청색 형광 발광unit와 적/녹색 인광 발광 unit를 적층으로 하는 2층 구조의 Multi-Unit 구조를 채용하고 있다[19]. (그림 6)에서는 Panasonic사에서 개발한 2층 형태의 Multi-Unit구조 백색 OLED 소자의 모식도를 보여주고 있다. 고연색성을 실현하기 위해서는 Peak파장이 460nm이하의 굉장히 깊은 청색 발광을 나타내는 형광재료를 개발하여 청색 발광 unit에 이용하여야 한다. 녹색과 적색의 혼색 층에는 고효율의 인광 발광재료를 사용하였다. 인광 발광 dopant의 특성을 충분히 이끌어내기 위해서는 에너지를 고효율로 발광 dopant에 집약하는 특성과 높은 전자 수송성을 가진 수송재료와 host 재료가 필요하다. 이것으로 고효율·저



(그림 6) 적색/녹색 인광과 청색 형광을 사용한 OLED 발광 소자의 소자구조 모식도

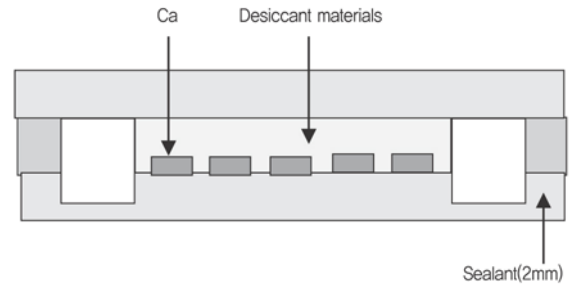
구동 전압을 실현하였다. 두개의 unit을 결합하기 위해 서 중간층에는 정공과 전자가 각각 수송 층에 주입될 수 있는 특성을 가진 재료를 선택하였다. 또, ITO상에 최초로 형성하는 정공 주입층(HIL: Hole-Injection Layer)에는 도포형 정공 주입재료를 선택하여 고효율 저전압 구동을 실현할뿐만 아니라 ITO전극의 표면에 결합 등도 억제할 수 있게 된다[20].

4. 봉지(Encapsulation) 기술

OLED 소자를 외부의 산소나 수분으로부터 차단 보호하여, 열화 방지를 위해 소자를 증착된 기판에 투명 캡으로 밀봉하는 봉지 기술이 필요하다. OLED 소자의 수명은 구동 시 발광재료 자체의 열화나 산소나 수분에 따른 발광 재료의 변화에 의해 수명이 단축된다. OLED 소자에 있어서 장수명을 구현하는 봉지기술은 최우선 개발해야 할 key technology이다.

소자를 다층박막으로 적층하여 감싸는 박막 봉지기술과 desiccant 또는 getter sheet를 유리기판 사이에 삽입하고 epoxy resin을 UV-curing하여 봉하는 유리봉지 기술이 있다. 또한 이 두가지 방법을 혼용하는 hybride 방식도 있다. 또한 최근에는 봉지 필름을 라미네이팅 하는 방법도 개발되고 있다[21].

초기에는 OLED 디스플레이에서 사용하는 질소와 같은



(그림 7) Desiccant를 이용한 봉지기술 모식도

기체를 봉입하여 밀봉하는 방법을 사용하였으나, 열 전도성이 나쁘고, 조명의 높은 파워 입력에 견디지 못한다. 고휘도 점등된 경우 충전 단자 근방의 방열 부족으로 소자가 비정상적으로 가열되어, 최악의 열파괴가 일어나서 망가진다. 전통적으로는 불소계 등의 절연성 오일을 사용하여 방열성을 어느 정도 높일 수 있었지만 생산력의 한계가 있었다[22].

최근에 일본의 JSR은 새로운 유기 금속화합물을 이용한 desiccant(건조제)를 배합한 흡습제를 개발하였다((그림 7) 참조). 각각의 화합물을 적절한 방법으로 탈수 처리를 하였다. 용액의 조제는 온도-70 °C이하 글로브 박스 안에서 제조하고, 얻어진 용액은 5μ m이하의 필터로 필터링 작업을 수행한 후에 저온에서 보관하며, 필요에 따라 실온에서 사용했다. 스프인코팅법으로 10μm를 도포하여 사용하였는데 OLED 패널에 적용하여 85C/85%의 환경에서 가속 실험한 결과 936시간 후에도 변화가 없는 것을 확인할 수 있었는데, 이것은 상온/상습에서는 253,269시간에 해당한다[23].

Lumiotec사는 일반 값싼 평판 유리 기판을 이용하여 젤(gel) 봉지 공정을 개발했다. 젤은 고체와 액체의 중간적인 성질을 가진 재료이고, 액체와 같이 취급하기 어려움이 없고, 고체 봉지 같이 OLED 소자에 미치는 영향에 대한 가혹한 배려나 고가의 진공 공정이 필요하지 않는 장점이 있다. 디스 펜스, 인쇄, 조립 등의 공법을 응용한 대량 생산을 위한 프로세스를 구축하는 단계에 있다. 젤 재료는 소자를 열화시키지 않는 재료를 선정하

고, 통상의 cap에 붙이는 흡습제를 대신하여 무기계 흡습제를 젤 속에 분산시킨 것으로써, 전열성/방열성을 향상시킴과 동시에 종래와 비교해도 전혀 뒤지지 않는 밀폐 성능을 실현하고, 패널의 슬림화(두께 2.3mm)를 실현하였다. 그 결과, 142mm 크기의 패널에서 5,000cd/m²에서 비교하면 최대 12°C 정도 패널의 온도를 낮출 수 있다[24].

IV. OLED 광원 산업 동향

1. 일반 현황

OLED 광원 패널을 개발하고 있는 기업들은 한국과 일본을 비롯하여 유럽의 전역에 퍼져 있는 것으로 나타나고 있다. 현재 OLED 광원 패널을 개발하고 또한 양산을 염두에 둔 업체를 포함해서 약 23개 회사가 있는 것으로 파악되고 있다. 기존 조명업체로서는 NEC Lighting, Toshiba Lighting, GE Lighting, OSRAM, Philips, Thorn Lighting 등 6개 회사이고, 디스플레이 업체 중에서는 NeoView Kolon, Panasonic, ToHoku Pioneer, AUO, Visionox 등 6개 회사이고, 신규 사업으로 OLED를 개발하는 업체는 LG Chem, Konica Minolta, Sumitomo Chem, Kaneka, Novaled, Poly Photonix, Arcelor Mittal 등 7개 회사이고, OLED광원 패널을 전문으로 하는 새롭게 만들어진 업체는 Modistech, Lumiotec, EL Tech, First O-Lite, Astron FIAMM 등 5개 회사이다[25]. 패널 크기는 대부분의 업체들이 370×470mm을 기본으로 하고 있고, 300×300mm과 200×200mm을 일부 사용하는 업체도 있다.

조명은 그 사용 용도가 구분해서 사용되고 있다. 실내외에서 주로 사용되는 일반조명과 벽이나 정원 등에 보조적으로 사용되는 보조조명, 그리고 자동차 실내와 스탠드용과 같은 근접조명으로 분류할 수 있고, 또 한가지

더 생각해 볼 수 있는 것이 무대나 경기장 등에 사용되는 특수조명 등이 있다. 즉, 거리와 광원특성(직진성, 휘도 등)에 따라 나뉘어져서 사용되고 있다고 할 수 있다. 일반조명은 아직 형광등이 주로 사용되고 있고, 효율은 60~100lm/W정도가 대부분이고 휘도는 5,000cd/m²이 상이다. 보조조명은 백열등과 형광등이 사용되고 있으나 최근에는 LED 등이 많이 사용이 되고 있다. 휘도는 3,000cd/m²정도의 제품이 사용되고 있다. 그리고 특수 조명에는 할로젠램프가 사용되었으나 최근에는 직진성이 좋은 LED의 사용이 늘어나고 있다.

2. OLED 조명 패널 업체

가. 한국업체

OLED 조명분야에서는 LG화학, 네오뷰코오롱, 주성 엔지니어링 등이 사업을 준비하고 있었으나 최근에 보면 LG화학만이 구체적인 로드맵을 가지고 적극적으로 사업을 추진하고 있다. LG화학은 2008년부터 OLED 조명 연구를 본격적으로 시작하여 2011년 하반기에 발광 효율이 45lm/W이고 크기가 99×99mm의 패널을 처음으로 시제품으로 출시하였고((그림 8) 참조), 발광 효율이 80lm/W이고 크기가 100×100mm의 패널과 발광 효율이 60lm/W이고 크기가 140×140mm의 패널을 2013년 하반기에 시판할 예정으로 박차를 가하고 있다.



(그림 8) LG화학의 OLED 패널 조명기구(CANVIS)

2013년 기술은 0.5T Glass기판에 봉지기술에서는 Face seal을 도입하고 3-stacked구조를 채용하는 것으로 알려지고 있다.

2015년에는 플렉서블 기판을 사용하고 봉지기술도 film type으로 하고 multi-stacked 구조를 채용하는 것으로 알려지고 있다. 내년에 본격적인 투자로 G5 라인을 구축할 것으로 보이고 2015년에는 30K까지 capacity를 늘릴 예정이고 cost는 2012년 대비 5%이내로 낮추는 로드맵을 갖고 있다[26].

네오뷰코오롱은 코오롱 자회사로 2000년에 설립되어 OLED 전문업체로 투자되어 왔다. PMOLED와 투명 OLED 자동차용 디스플레이를 개발하여 왔으나 PMOLED 시장이 급속하게 퇴조하면서 어려움을 겪고 있는데, 투명 OLED의 성능과 양산성은 이미 일정수준에 끌어 올렸다는 평가이다. 투명 OLED 양산 능력은 현재 2세대(370×470mm) 라인 투입 원판 기준 월 1만 5000장 규모이므로 OLED 조명으로의 전환이 손쉽게 이루어 질 것으로 기대된다[27].

또 Modistech사는 2003년에 설립된 플렉서블 OLED를 전문적으로 개발하는 업체인데 자체적으로 보유한 hybrid encapsulation 기술을 바탕으로 플렉서블 OLED 조명을 개발하고 있다. 특히 low cost 제조 공정 개발에 집중하고 있다.

나. 일본업체

Lumiotec사는 Mitsubishi중공업사, ROHM사, Toppan인쇄사, Mitsui물산과 Kido 교수(Yamagata 대학)가 2008년에 만든 OLED 조명 전문회사이다. 2011년 봄 이태리 밀라노 살롱 에서 HANGER(그림 9) 참조)와 VANITY 등 2 종류를 출품하여 호평을 받고, 2011년에 Portable Type과 탁상 Type등 2 종류를 판매하기 시작하였다. 올해 초 Lighting Japan 2013에서 P05, P06 series를 비롯하여 2013년에 출시할 P07 series 2종도



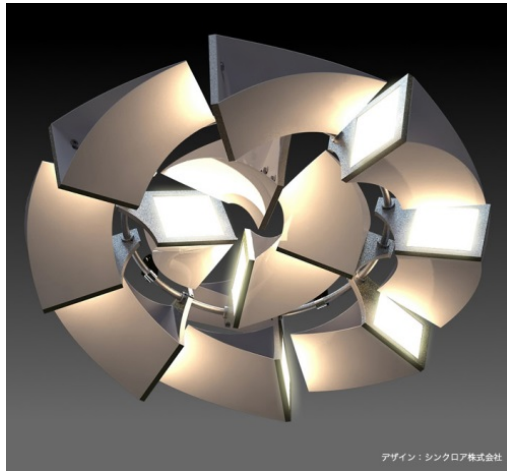
(그림 9) Lumiotec사의 HANGER

선보였다. 본 기술은 Gel encapsulation과 방열판을 이용하여 표면 온도를 20°C에서 5°C까지 크게 낮춘 것이 특징이다[28].

일본 화학 기반의 Kaneka사는 OLED 광원개발 회사인 Koizumi사와 Tohoku Device사를 인수하여 2010년에 OLED靑林사를 설립하여 본격적으로 OLED 사업에 뛰어들었다. 2011년에 이태리에서 열린 밀라노 살롱에 출품하면서 4월부터 상업 판매를 개시하였다. 2015년에는 약 200억엔, 2020년에는 1,000억엔의 매출을 목표로 하고 있고, 패널은 50×50mm, 80×80mm 두 종류를 선보이고 있는데 휘도 3,700cd/m², 효율은 18lm/W로 소개되고 있다[29].

1890년에 세운 Hakunetu-Sha가 1989년에 Toshiba Lighting사로 사명을 변경하고 본격적으로 차세대 조명 사업에 뛰어들었다. 특히 지금까지 많은 LED 제품을 보이고 있다. 최근에 발표한 기술에서는 음극에 반사율이 높은 재료를 사용하여 광추출 효율을 높인 패널을 선보이고 있다. 패널 크기는 70×80mm이고, 휘도 1,000cd/m²에 발광 효율이 91lm/W의 특성을 발표하고 있다. OLED와 LED를 같은 공간에서 LED의 광직진성과 OLED의 그림자가 없는 부드러운 연출을 다양하게 사용하는 것을 보여주는 것이 크게 호평을 받았다[30].

Panasonic사는 NEDO Project를 통해서 130lm/W 효율을 목표로 연구개발하고 있으며, 실험실 레벨에서는



(그림 10) PIOL사의 모듈 조명 기구

고굴절을 hemisphere 렌즈를 사용하여 142lm/W를 달성하고 있다. 동경 Jiyu-ga oka 역사에 OLED 패널을 사용한 조명기구를 설치하여 전시하고 있다. PIOL(Panasonic Idemitsu OLED)사는 Idemitsu kosan 과 OLED조명 패널을 판매하기 위한 회사로 설립하였는데 2012년부터 연구개발과 판매까지 담당하고 있다. 브랜드명 'Eleaf'로 97×97mm 크기의 광효율 30lm/W, 휘도 3,000cd/m²의 패널을 판매하고 있다. Lighting Japan 2013에 150×50mm, 200×50mm의 크기의 패널을 새롭게 선보였다(그림 10) 참조[31].

Nippon Seiki사는 자동차용 장수명의 PMOLED를 주로 생산하고 있는데 2011년에 OLED 패널을 처음으로 시제품을 공개하였다. 2012년 5월에 판매 샘플 출하를 하고 있는데 3종류(280×38mm, 140×38mm, 90×90mm)의 형태를 선보이고 있다. 휘도 1,000cd/m², 연색지수 Ra 80이상, 수명 3만 시간의 특성을 보여준다. 90×90mm크기의 패널 가격이 약 100달러로 알려지고 있다[25].

Sumitomo Chem.사는 1989년에 OLED연구개발을 시작하여 CDT(Cambridge Display Technology Limited)사와 합병회사를 설립하여 본격적으로 사업을 확장해 나가고 있다. 2012년에 독일에서 개최된 Light +

Building전에 '日本の色-和の色'는 테마로 60가지 색을 연출하여 호평을 받았다고 한다. 2013년에 장식용 등의 디자인 조명에 주력하고, 2015년에는 플라스틱 기판을 사용한 일반조명을 목표로 60lm/W이상의 효율에 2만 시간 이상의 수명을 목표로 하는 로드맵을 가지고 있다 [32].

Konica Minolta사는 Symfos OLED라는 브랜드명으로 OLED 패널을 판매하고 있는데 두께는 1.9mm, 패널크기는 74×74mm, 광효율이 45lm/W, 휘도는 1,000cd/m², 수명이 8,000시간의 사양 특성을 가지고 있다. 패널 5장에 10만엔 발매되고 있다. 발광에 의한 발열을 획기적으로 줄일 수 있는 인광 재료를 독자적으로 개발한 것이 특징이다. 2013년에 Lighting Fair Japan에서 플렉서블 OLED 패널을 전시하고 있다 [33][34]. El Techno사는 42×72mm 크기의 장식용 및 스텐드용 패널을 Lighting Japan 2013에 전시하였다 [35].

다. 대만/중국업체

Visionox사는 2001년에 설립된 중국의 OLED 전문회사이다. OLED 조명 패널을 개발 중에 있으며 2012년에 73×42mm 크기의 OLED 조명 패널 라인을 구축하여 시험 제작을 하고 있다. 최근에 85×85mm크기의 광효율 40lm/W의 OLED 조명 패널을 발표하였고, 이를 적용한 Portable lamp인 Olight Series는 현재 150,000원에 판매 중에 있다. 최근에 다양한 크기(165×165mm까지)의 OLED 조명 패널을 선보이고 있고, 플렉서블 백색 OLED도 개발하고 있다[36].

라. 미국업체

GE Lighting사는 전통적인 조명업체로서 플렉서블 OLED 조명에 관심을 가지고 2003년부터 R-to-R(Roll-to-Roll) 공정을 개발하여 왔다. Konica

Minolta와 공동으로 개발한 플렉서블 백색 OLED 패널을 공개하였는데 광효율이 56lm/W인것으로 발표되었다[37].

마. 유럽업체

Osram은 OLED조명 패널과 모듈을 함께 생산하는 업체로써 2009년 말에 'ORBEOS'라는 이름으로 OLED 시제품을 내놓고 해마다 계속해서 새로운 형태의 제품을 선보이고 있다. 2012년에 2012년에 상용화 계획을 발표하였다. 그 후에 2013년 4월에 LED와 OLED기술을 이용하여 FC 바이에른 박물관(FC Bayern Erlebniswelt)을 새롭게 꾸몄다(그림 11) 참조). 2014년에 투명 OLED 조명 생산을 목표로 하고 있는데 패널크기 180x65mm, 광효율 20lm/W, 투명도가 57%인 제품을 선보였다[38][39].

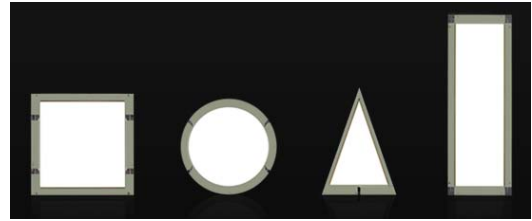
OLED 재료를 위하여 설립된 Novaled사는 OLED 패널도 생산하고 있다. L+B2012에서 자사의 브랜드명인 'Litenity'로써 Lucentury, Trinity 등이 전시되었다. 재료를 중심으로 조명기구 사업까지 확대할 것으로 보인다[40].

소량 다품종 생산을 사업 전략으로 가진 Astron FIAMM사는 초기에는 직사각형 모양의 OLED 패널로 조명기구를 전시하였으나 L+B2012에서는 원형 type의 OLED 조명기구를 선보였다[41].

Philips사는 기존의 조명업체로써 OLED 패널에서부



(그림 11) Osram사의 FC 바이에른 박물관 조명



(그림 12) Phillip사의 다양한 모양의 패널

터 모듈과 조명기구까지 생산하는 업체로서 가정용 조명에서 자동차용 조명에 이르기까지 다양한 응용에도 가능성을 보고 있다. 'Lumiblade'라는 브랜드명으로 제품 판매를 하고 있는데 두께는 1.8mm로 (그림 12)와 같은 종류의 패널을 판매하고 있다[42].

Mimosa, Edge, O'Leaf, Moorea, Obique 등 다양한 프로젝트명으로 조명기구들을 선보이고 있는데, OLED 그랜드에서 Moorea, Edge등의 제품에는 GL350 패널(124x124mm)가 사용되고 있다. 4,000cd/m²의 고휘도를 나타내고 있지만 광효율은 16.7lm/W로서 그다지 높지 않다. Interactive OLED mirror에 사용한 OLED 패널은 42x44.2mm이며, 휘도는 1,500cd/m²이다. 2012년에 로드맵을 발표하였는데 장식용 조명과 고성능 일반조명으로 크게 2개의 제품군으로 나누기로 하였다. 2013년에 투명조명을 생산하고 2018년에는 색가변과 플렉서블 조명을 생산하는 것으로 목표를 세웠다. 고성능 일반 조명은 형광등을 대체하는 것으로 2013년에 광효율 60lm/W, 휘도 3,000cd/m², 2018년에 광효율 130lm/W, 휘도 5,000cd/m²을 목표로 하고 있다.

Ⅶ. 마무리

최근에 절전과 에너지 절약의 큰 흐름에 편성하여 LED 조명 채용이 증가하고 있으나 효율이 증가하고 휘도가 높아지면 점광원인 LED 광원은 일반조명으로 사용하기에는 눈이 부셔서 확산막과 렌즈 등의 사용이 필요하게 되고 이 경우에는 효율이 낮아지는 모순이 생기

게 된다. 반면에 OLED 조명은 면광원이므로 이를 극복할 수 있는 장점이 있다. 최근에 각각 회사에서 샘플 출하를 하고 있는데 2015년에 100lm/W, 2020년에 140lm/W, 최종적인 목표가 190lm/W로 잡고 있다. 그러나 실용화하여 널리 보급하는데는 조금 시간이 걸릴 것으로 보인다. OLED 광원은 얇고, 가볍고, 필름형태 등의 특징을 가지고 있어 이 특징을 살리는 실내 인테리어 조명 등에 활용이 크게 기여할 것으로 생각된다. OLED 조명은 전 세계적으로 시장형성 초기단계이므로 선제적이고 전주기적인 지원을 통하여 시장선점 및 확대가 필요하다[43][44]. 그러므로 LED 조명과 OLED 조명의 각각의 특징을 살려서 함께 활용하는 것이 향후에 더욱 활발해 질 것으로 기대된다.

용어해설

LED 발광다이오드란 갈륨비소 등의 화합물에 전류를 흘려 빛을 발산하는 반도체소자로, 반도체의 p-n 접합구조를 이용하여 소수캐리어(전자 또는 정공)를 주입하고 이들의 재결합에 의하여 발광시키는 기술

OLED 유기발광다이오드란 형광성 유기화합물에 전류가 흐르면 빛을 내는 전계 발광현상을 이용하여 스스로 빛을 내는 '자체발광형 유기소자'를 말한다. 낮은 전압에서 구동이 가능하고 얇은 박형으로 만들 수 있는 기술

약어 정리

ATP	Adenosine Triphosphate
BLES	Built-up Light Extraction Substrate
CRI	Color Rendering Index
ETL	Electron-Transport Layer
HIL	Hole-Injection Layer
ITO	Indium Tin Oxide
LED	Light-Emitting Diode
MLA	Micro Lens Array
OLED	Organic Light-Emitting Diode
R-to-R	Roll-to-Roll
TADF	Thermally Activated Delayed Fluorescence

참고문헌

- [1] 산업통상자원부 보도자료 " 2014년부터 백열전구 생산·수입 금지" 2013.7.17.
- [2] Mike Hack(Universal Display Corporation) "OLED Lighting - Completing the SSL Portfolio" DOE SSL Manufacturing Workshop, 2009.4.21.
- [3] (http://navercast.naver.com/contents.nhn?contents_id=1022) : 반딧불자료.
- [4] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, "Organic electroluminescent diodes", Appl. Phys. Lett. 51 (12). 21 September, 1987, pp.913-915.
- [5] Murat Mesta et al, "Molecular-scale simulation of electroluminescence in a multilayer white organic light-emitting diode, NATURE MATERIALS, VOL 12, JULY 2013, pp.652-658.
- [6] Sumitomo Chemical, FPD 디지털소재 세미나
- [7] 電子情報通信学会 「知識ベース」 2011.
- [8] J. Kido, K. Nagai, and Y. Ohashi, "Electroluminescence in a Terbium Complex" Chemistry. Letters. 1990, pp.657-660.
- [9] J.K. Lee, D. S. Yoo, E. S. Handy, and M. F. Rubner, "Thin film light emitting devices from an electroluminescent ruthenium complex" Appl. Phys. Lett. 69 (12), 16, 1996 pp.1686-1688.
- [10] Baldo, M.A.a, Lamansky, S.b, Burrows, P.E.c, Thompson, M.E.b, Forrest, S.R., "Very high-efficiency green organic light-emitting devices based on electrophosphorescence" Applied Physics Letters Vol.75, Issue 1, 5 July 1999, pp 4-6.
- [11] A. Endo, M. Ogasawara, A. Takahashi, D. Yokoyama, Y. Kato, and C. Adachi "Thermally Activated Delayed Fluorescence from Sn4β-Porphyrin Complexes and Their Application to Organic Light-Emitting Diodes" Adv. Mater. 2009, 21, 4802-4806.
- [12] Young-Seo Park, Sunghun Lee, Kwon-Hyeon Kim, Sei-Yong Kim, Jeong-Hwan Lee and Jang-Joo Kim, "Exciplex-Forming Co-host for Organic Light-Emitting Diodes with Ultimate Efficiency", Adv. Funct. Mater. 2013, pp1-7.
- [13] <http://panasonic.co.jp/corp/news/official.data/data.dir/2013/05/jn130524-5/jn130524-5.html>
- [14] Nakanishi, "미세회절구조에 의한 OLED 고휘도 기술" Toshiba Review, Vol63.No.8, 2008, pp70-71.

- [15] Jaehyun Moon, et.al. "Organic Wrinkles as Optical Scattering Sources", SID 2013 DIGEST pp1395-1396.
- [17] Junji Kido, Masato Kimura and Katsutoshi Nagai Reviewed, "Multilayer White Light-Emitting Organic Electroluminescent Device" Science, Vol. 267, No. 5202 (Mar. 3, 1995), pp. 1332-1334
- [18] W.Sotoyama et.al. "인광 OLED 소자의 효율.내구성 향상 기술 개발" Fujifilm Research & Development (No.55),2010, pp.24-28.
- [19] Takuyama Komoda, "High Efficient and High Quality White OLEDs and Its Resource Saving Fabrication~" Panasonic Presentation Materials, 12 July,2012.
- [20] Kazuyuki Yamae, et.al., "차세대 저에너지 광원 OLED 조명", Panasonic Technical Journal, Vol.57, No.4, 2012, pp.52-57.
- [21] Samuel P. et al., "Laboratory Thin-Film Encapsulation of Air-Sensitive Organic Semiconductor Devices", IEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, VOL. 57, NO. 1, JANUARY 2010, pp.153-156.
- [22] 박종운, 신동찬, "장수명 OLED 봉지기술 및 개발동향" 전기전자재료 제25권 제6호 2012, pp.31-41.
- [23] Takayuki Arai, "有機EL向け新規デシカント材料" JSR JSR TECHNICAL REVIEW No.120, 2013, pp.12-17.
- [24] Keiichi Hori et.al., 次世代照明の本命, 有機EL 照明パネルの開発と量産化, 三菱重工技報 Vol.49 No.1 2012, pp.50-55
- [25] 2013 OLED Lighting Annual Report Market Forecast(~2020)
- [26] LG Chem. Catalog
- [27] [http://www.neoviewkolon.com/english/company/com](http://www.neoviewkolon.com/english/company/company.htm)
- [28] <http://www.lumiotec.com/index-jp.html>
- [29] <https://www.kanekaoled.jp/panel/index.html>
- [30] K.Sugi, "면으로 부드럽게 비춰는 OLED 조명" Toshiba Review vol.67.No.9, 2012, pp.56-57
- [31] Takamura Makoto et.al., "世界最高レベルの実用性能を備えた有機EL 照明パネルの開発", 三菱重工技報 Vol.49 No.4, 2012, pp.107-112
- [32] <http://www.sumitomo-chem.co.jp/english/pled/>
- [33] Tomoyuki Nakayama, "Development of Phosphorescent White OLED with High Power Efficiency and Long Lifetime" KONICA MINOLTA ECHNOLOGY REPORT VOL.5, 2008, pp.115-120
- [34] <http://www.konicaminolta.jp/symfos/index.html>
- [35] <http://www.el-techno.co.jp/>
- [36] <http://www.visionox.com/en/index.aspx>
- [37] [http://www.gereports.com/ges-oled-research-i-saw-the-light-and-it-bends/;](http://www.gereports.com/ges-oled-research-i-saw-the-light-and-it-bends/)
<http://ledsmagazine.com/news/7/7/14>
- [38] Dr. Christoph Gärditz, ORBEOS® Application Note
- [39] http://www.osram.com/osram_com/news-and-knowledge/oled-home/index.jsp
- [40] http://www.novaled.com/markets/oled_lighting/
- [41] <http://www.astron-fiamm.com/fr/index.html>
- [42] <http://www.lighting.philips.com/main/led/oled/>
- [43] 오대곤, 김서균, 박준범, "OLED 주조명 신산업화 전략", PD ISSUE REPORT 2013.3, VOL 13-3, pp.043-058
- [44] 유병곤, 이정익, 추혜용, "차세대 조명 기술로서 OLED 기술의 현황", 전자통신동향분석 제26권 제6호 2011년 12월, pp.189-198