

OLED 조명개발 현황과 전망

송은근 부영모 (삼성미래얼(주))

I. 서론

조명의 기능은 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 생활의 근본이 되는 물체와 그 주변을 인지하도록 도와주는 기능적인 측면이 하나이고, 인간의 감정과 기분에 영향을 미치는 심리적인 측면이 또 다른 하나이다. 우리 인간은 빛의 색과 세기에 의하여 생리적인 호르몬 분비의 변화뿐만 아니라 심리적인 변화와 같은 영향을 받을 수 있다. 다시 말하면, 조명이 변화를 줌으로써 생활 공간의 장식적 효과뿐만 아니라 우리의 행동방식과 사고에 영향을 줄 수 있는 심리적 효과까지도 기대해 볼 수 있다는 것이다.

최근 조명 개발방향을 살펴보면, 단순히 빛의 밝기만을 강조한 기능적인 측면보다 심리적인 측면에 비중을 두고 조명의 편안함과 고급스러움을 추구하는 감성조명이 하나의 새로운 트렌드로 자리잡고 있다. 감성조명의 기본 개념은 인간의 생체리듬에 적합한 빛의 세기와 색 온도를 조절하여 상황에 맞는 빛 환경을 제공하고 심리적으로 안정감을 가질 수 있도록 조명을 자동적으로 조절 해 주는 것이다. 감성조명을 구현하기에 적당한 광원은 기본적으로 색 온도와 빛의 세

기가 연속적으로 조절될 수 있는 특징을 갖고 있어야 한다. 자연에 존재하는 가장 이상적인 감성조명으로 태양광을 들 수 있는데, 태양광의 색 온도 분포는 2500K~에 해당한다. 새벽에 해가 뜨는 시점의 색 온도는 약 ~2500K 이고,해가 질 무렵의 붉은 노을은 약 ~3250K, 그리고 청명한 날정오의 색 온도는 약 ~8000K까지 올라간다. 일반적으로, 우리 대부분은 해가 뜰 때, 한낮 정오를 지나 석양이 드리워진 서쪽 하늘을 바라볼 때 우리의 감정상태가 변하는 것을 느껴 본적이 있을 것이다. 가장 좋은 조명상태는 태양광에 가까운 빛을 제공해 주면서 상황에 맞게 심리적으로 가장 안정되고 자연스러운 빛의 환경을 만들어 주는 것이라고 할 수 있다.

감성조명 응용으로 활용 성이 높은 Organic Light-Emitting Diode (OLED) 조명은 디스플레이 기술을 기반으로 하는 면 광원으로 눈부심이 적으며, 빛의 느낌이 은은하고 자연스러워 눈부심이 지나친 점 광원 LED조명과 차별화 되는 조명이라고 할 수 있다. 이상적인 상황을 가정하면, OLED조명은 기본적으로 빛의 색온도 뿐만 아니라 조명 빛의 색 자체를 자유자재로 바꿀 수 있을 뿐만 아니라, 플라스틱 기판을 사용하여 구

부릴 수 있고, 두께가 매우 얇고 무게가 가볍다. 이 외에도 형태를 자유롭게 할 수 있는 등 디자인적 응용 측면에서도 엄청나게 뛰어난 장점을 가지고 있다. 이와 같은 OLED특성은 백열 전구나 형광등과 같은 기존 조명으로는 상상 할 수 없었던 새로운 개념의 차세대조명을 의미한다. 건물의 벽면뿐만 아니라 커튼, 하물며 벽지조차도 조명의 형태로 구현할 수 있다는 상상을 가능하게 해준다. 확대해서 상상해보면, OLED 조명은 주변에 존재하는 모든 사물을 조명의 매개체로 활용 할 수 있는 가능성을 제공한다. OLED조명으로 우리가 상상 할 수 있는 아이디어와 응용성에는 한계가 없다고 할 수 있다. 만약에, 한계가 있다면 우리의 상상력 부족이 그 한계라고 할 수 있다.

이 외에 환경적인 관점에서, OLED는 비교적 높은 전력효율과 유해물질을 포함하지 않아 전력효율이 낮은 백열전구와 수은과 같이 유해물질이 포함된 형광등을 대체할 수 있는 친환경 광원이 될 수 있다. 지구온난화 방지를 위한 교토협약에 따라 에너지효율이 낮은 백열전구는 미국 캘리포니아 주, 호주, 대만 등에서 판매 및 사용 규제 법안이 준비 중이다. 형광등도 유해물질제한 법안인 RoHs (Restriction of Hazardous Substances)와 폐기전기전자제품 규제 법안인 WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment)에 따라 2012년부터 감산이 예정되어 있다. 현재 OLED의 성능을 보면 백열전구보다는 월등히 좋고 형광등 및 LED에 비하여 낮은 성능을 보이거나 2015년 정도에 LED와 비교될 수 있는 정도의 성능이 확보 될 것으로 예상된다. 이러한 OLED광원의 장점 때문에 일본, 미국, 유럽 등을 중심으로 OLED조명 개발이 활발하게 이루어지고 있으며, 우리나라도 대학 및 정부 연구기

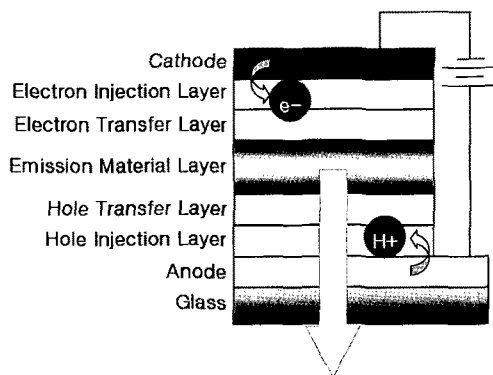
관, 대기업 등에서 본격적인 관심을 갖고 개발을 하고 있는 상황이다.

본 고에서는 차세대 조명광원으로 각광 받고 있는 OLED조명개발을 위한 기본 요구조건과 개발방향에 대하여 살펴보고자 한다.

II. OLED 조명의 특징

1. OLED소자의 기본원리

OLED 소자의 구조를 살펴보면 아래 <그림 1>과 같다. 간단히 설명하면 투명한극전극인 ITO와 Al 음극 사이에 100 ~ 200nm 두께의 유기박막이 끼워져 있는 구조이다. 좀 더 자세히 살펴보면, 양 전극 사이에 몇 가지 다른 기능을 하는 유기박막 층이 있다. ITO 전극에서 홀이 주입이 되고 음극인 Al에서 전자가 주입이 되는데 이때 홀과 전자가 잘 주입되도록 도와주는 정공 주입층 (Hole injection layer)과 전자 주입층 (Electron injection layer)이 있다. 주입된 전하는 각각의 수송층 (Hole transporting layer, Electron transporting layer)을 통하여 발광층

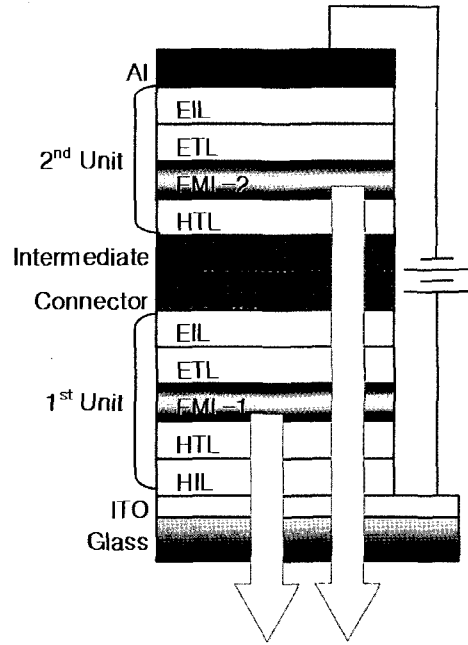


<그림 1> OLED소자의 기본 구조

(Emission layer)에 도달하게 되고 발광층에 도달된 홀과 전자는 결합하여 여기자 (Exciton)를 형성한다. 형성된 여기자는 빛을 발하는 발원체가 되며 여기자의 에너지 밴드갭을 선택적으로 적절하게 조절함으로써 원하는 파장의 빛을 구현할 수 있게 된다.

2. OLED조명용 소자구조

OLED 소자를 조명용으로 사용하려면 어느 정도 높은 요구휘도와 수명이 보장되는 소자구조가 필요하다. 백색 빛을 구현하기 위한 몇 가지 방법들이 위에 언급된 기본구조에 바탕을 두고 있으나, 전형적인 기본구조로는 조명용으로 요구되는 고휘도 구현과 신뢰성 확보에 어려움이 있어 이 구조를 조명용 소자구조로 직접 사용하기에 곤란하다. 이러한 문제를 극복하기에 유리한 소자구조로서 조명용 OLED 소자에 가장 많이 사용되는 구조가 <그림 2>에 보여진 tandem 구조이다. 이 구조는 소자의 중간에 위치하는 intermediate connector (혹은 CGL: charge generation layer)를 기준으로 아래위에 두 층의 발광층이 위치한다. <그림 2>에 보여주는 구조를 기본으로 설명하면, intermediate connector 층 아래로 white 빛을 방출하는 발광 층이 있고 위로 동일한 백색 빛을 동시에 방출하는 두 번째 발광 층이 위치한다. 그리고 아래 위의 각 발광층의 색은 기술적으로 필요에 따라서 동일하게 할 수도 있고 다르게 할 수도 있다. Tandem 구조는 전형적인 단층 소자구조에 비하여 쌓는 층의 숫자에 비례하는 높은 휘도 (cd/m^2)가 가능하고 수명도 훨씬 긴 결과를 보여준다. 이와 같은 장점에 비하여 가장 큰 단점으로는 복잡한 구조로 인하여 제조공정이 복잡하다는 것을 들 수 있다. 다



<그림 2> 조명용 OLED 소자의 tandem 구조

시 말하면, 제조 시 복잡한 추가설비가 필요하다는 것을 의미한다. 추가된 공정은 직접적으로 양산수율에 문제가 될 수 있을 뿐만 아니라 전체적으로 제조비용의 상승을 수반하게 된다. 소자구조도 단층구조에 비하여 전체 두께가 두꺼워지기 때문에 구동전압이 올라가게 된다. Tandem 구조의 발광효율 (cd/A)은 일반적으로 발광층수에 비례하여 상승하지만 전압이 동시에 높아져 전력효율 (lm/W)은 전형적인 단층소자에 비하여 비슷하거나 낮아지게 된다. Tandem구조가 갖는 몇 가지 불 만족스러운 단점에도 불구하고 OLED가 조명에서 요구되는 특성을 충족하려면 당분간 tandem구조를 사용할 수 밖에 없는 상황이다. 향후 높은 효율과 긴 수명을 갖는 고 효율 재료를 개발하여 tandem구조가 필요 없는 소자구조 확보가 시급한 당면과제라고 할 수 있다.

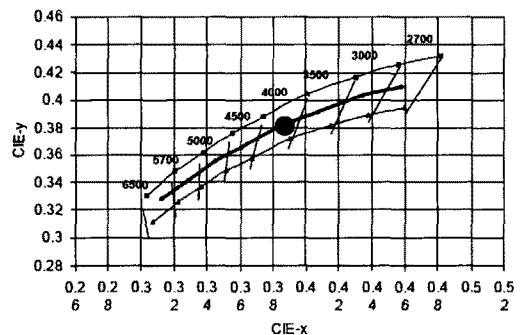
3. OLED 조명의 요구조건

OLED가 조명으로 경쟁력을 갖기 위하여 만족해야 할 몇 가지 조건으로 높은 에너지 효율, 긴 수명, 가격 경쟁력 등을 들 수 있다. 조명의 용도에 따라 다르겠지만 궁극적인 응용이 백색광을 사용하는 일반 조명이라고 한정하면 적어도 광원이 높은 에너지 효율(60lm/W ~ 80lm/W, 5000cd/m² (nit)기준)과 약 2만시간 (초기휘도 100%가 70%로 감소되는 시간기준) 정도의 수명을 나타내 주어야 한다. OLED 광원의 경우 높은 전력효율 (lm/W)과 고휘도 (>5000cd/m²)를 동시에 구현하는 것이 비교적 어려운 경우이다. OLED의 경우 일반적으로 낮은 휘도에서 높은 전력효율을 보여주나 고휘도 영역에서 전력효율이 급격히 낮아지는 단점이 있다. 따라서 OLED 소자의 전력효율 특성을 표시할 때, 기준 휘도와 전력효율을 동시에 표시해 주어야 한다. 현재 여러 학계 및 연구기관으로부터 발표되는 OLED 조명의 특성 결과를 살펴보면 OLED 특성이 유리한 기준 휘도 1000nit 수준에서 높은 전력효율을 달성했다고 발표하는 경우가 대부분이다. 안타깝게도, 비록 ~1000nit에서 높은 에너지 효율을 달성했다고 해도 조명용으로 직접 응용하기에는 결과의 합리성이 부족하게 된다. 같은 소자의 휘도를 ~5000nit 정도로 높이면 급격한 특성저하로 인하여 조명용으로서 가치 없는 결과가 되기도 한다. OLED 조명이 비교적 높은 휘도에서 구동이 되는 것을 감안하면 OLED 조명 패널의 발열 문제가 심각하게 고려되어야 한다. 발열문제를 최소화하기 위한 직접적인 방법은 발광효율이 높은 발광재료를 개발하여 낮은 전류에서 밝은 빛을 낼 수 있게 하는 것이라 할 수 있다. 또한 효율적인 전하 수송층 등의 재

료개발을 통하여 구동전압을 추는 것이 필요하고, 피할 수없이 발생하는 열은 효과적으로 방출할 수 있도록 방열 판과 함께 저 발열 판넬설계 기술이 필수적으로 개발되어야 한다.

휘도와 수명 같은 기본 요구조건 외에 조명용으로 고려되어야 할 특성으로 색 온도(color temperature), 연색성 (color rendering index) 등을 들 수 있다.

색 온도는 흑체가 방출하는 빛의 색을 절대온도 단위로 표현 한 것으로 색 온도가 높을수록 청색을 띄고 낮을수록 붉은색을 띄게 된다. <그림 3>은 국제조명위원회 (CIE: Commission Internationale De L' eclairege)에서 제정한 백색광원의 색 온도 분포를 보여주고 있다. 가운데 plank 곡선을 따라서 색 온도가 표시되어 있는데 맑은 날의 푸른 하늘은 10,000K, 한여름의 직사광선은 6,000K, 아침 저녁 무렵의 햇살 4000K, 일출 일몰 직전이 2800K 정도의 온도가 된다. 각 온도 분포에 따라 표시된 박스표시는 주어진 온도에서 허용 되는 조명의 색 온도 오차 범위를 나타낸다. 이는 현재 사용되는 형광등을 기준으로 작성된 표준이다. OLED 조명에 관한 표준은 현재 제정된 바가 없으나 큰 틀에서 이와



<그림 3> 조명의 색 온도에 따른 허용 규격
출처: Display search OLED lighting in 2009 and beyond

같은 기준을 만족해야 한다고 볼 수 있다. 일반적으로 4000K의 이상의 색 온도 범위를 갖는 백색 광을 cool white라하고 3500K 영역의 빛을 warm white라고 부른다. 박스로 표시되는 오차 범위를 크게 벗어나는 광원도 동일한 색 온도로 표시 될 수 있으나, 이 경우 조명으로서가치는 그리 크지 않다고 할 수 있다.

연색성은 사람이 물체의 색상을 인지할 때 똑같은 색 시료가 광원의 특성에 따라 색상이 다르게 보이는 현상을 말한다. 야외에서는 아름답게 보이던 옷감이 형광등 아래에서는 색이 죽어 보이는 현상이 우리가 쉽게 접할 수 있는 연색 현상의 예이다. 채소, 과일을 판매하는 청과물 점이나 횃집 같은 곳에서 조명의 광원을 어떻게 선택하느냐에 따라 상품이 좀 더 신선하게 보이거나 덜 신선해 보일 수가 있다. 이 현상을 적절하게 잘 이용하면 훨씬 신선한 느낌을 주어 소비자가 상품을 더 사고 싶은 욕구를 느끼게 할 수 있다는 것이다. 두 다른 광원의 연색성을 비교 할 때, 반드시 색 온도가 같은 광원으로 비교해야 하고 분광분포는 자연광 (Daylight)과 완전복사체 (Black body radiator)를 기준으로 하여 평가를 한다. “같은 색 온도에서 같은 연색성 값을 갖는다”는 의미는 “두 가지 다른 비교조명하에서는 같은 시료의 색상을 동일하게 느낀다”는 것이다. 만약 연색성 값이 높더라도 색 온도가 다르다면 광원의 분광분포가 달라 전혀 다른 색으로 인지 할 수 있다. <그림 4>에서 왼쪽의 사진은 daylight 광 분포 기준 색 온도 5000K ~ 6000K하에 연색성 93을 보여주고, 오른쪽 사진은 4100K 할로겐 램프 광원 하에서 연색성 98의 값을 보여준다. 오른쪽 사진이 연색성 값이 높다고 좋은 광원이라고 단언하기는 곤란하다는 것이다. 오른쪽 사진에서 모자의 색상이 훨씬 노랗게 나타나는



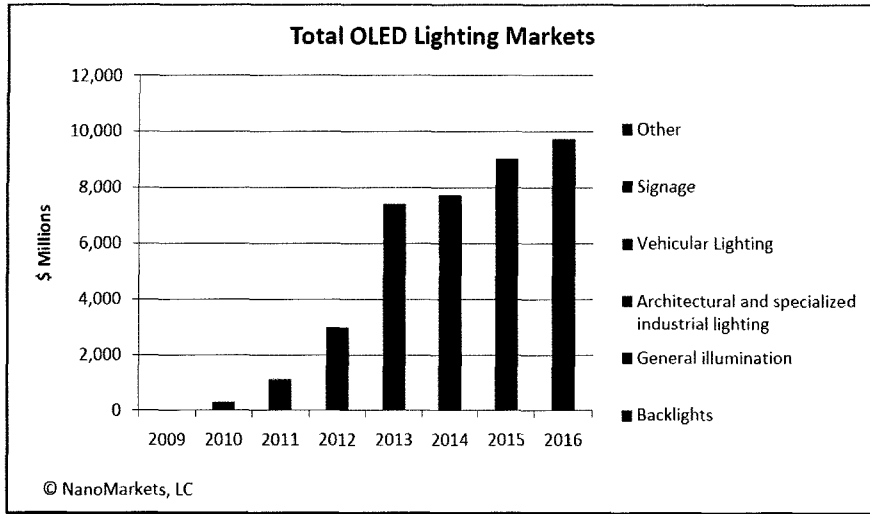
〈그림 4〉 다른 색 온도 광원하의 연색성

좌: CRI 93 (5000K~6000K daylight 광 분포)
우: CRI 98 (4000K spectral matched daylight 광 분포)
출처: www://fullspectrumsolution.com

것은 할로겐 램프의 광원분포가 daylight에 비하여 노란 색 파장이 훨씬 강하게 분포하고 있기 때문이다. 이 예는 색 온도가 다른 광원 비교 시 연색성 값의 비교는 의미가 없음을 보여 주는 경우이다. 일반적으로 연색성 값이 크면 좋다고 알려져 있으나, 경우에 따라서는 낮은 연색성 값을 갖는 광원이 좀 더 자연스러워 보일 수가 있다는 점이다. 이와 같은 결과는 제품 마케팅 시 숙련된 소비자에게는 충분히 호소력이 있으며 마케팅 포인트로 활용하는 것이 필요하다고 할 수 있다.

III. OLED조명의 시장동향

OLED 조명 시장의 규모를 살펴보면 시장 예측기관에 따라 약간씩 다르기는 하나 <그림 5>에서 볼 수 있는 것처럼 2010년과 2011년을 기점으로 OLED 조명 시장의 규모가 급격히 상승하는 것을 볼 수 있다. 미국, 유럽 및 일본의 조명 기업들이 2011년 및 2012년에 OLED 조명 양산 선언하는 것과 맥을 같이하는 것이다. 2012년에 약 30억불의 시장규모를 형성하다가 2013



〈그림 5〉 OLED 조명의 예측 시장규모 및 응용분야

출처: NanoMarkets, LC 2009

년에 77억불 그리고 2016년경 100억불의 시장 규모가 예측된다.

2013년 OLED조명의 용도별로 살펴보면 주로 일반 조명의 응용이 대부분이고 그 뒤로

디스플레이의 back light용과 디자인이 가미된 건축용 및 특수용도가 뒤를 잇고 있다.

IV. OLED조명의 개발 방향

고성능 OLED 조명개발 시 제일 우선시되는 것은 고효율 발광재료의 개발이다. 발광재료는 발광층에서 형성되는 여기체 (exciton)의 스핀 상태에 따라 형광재료와 인광재료로 나뉘어 진다. 여기체의 스핀 상태는 일중항(singlet)과 삼중항(triplet)의 두 경우로 존재하며 그 분포의 비율이 이론적으로 1:3으로 생성된다. 일중항 상태의 여기체와 삼중항 상태의 여기체로부터 각각 발광이 일어나는 것을 형광재료 그리고 인광

재료라고 부른다. 일반적으로 인광재료는 여기체의 우세한 스핀상태의 분포로 인하여 형광재료에 비하여 훨씬 높은 발광효율을 보여준다. 이러한 장점 때문에 미국의 Universal Display Corporation (UDC)사를 필두로 인광재료의 개발에 엄청난 노력과 관심이 있었고 그에 따르는 상당한 진전이 있어 왔다. 하지만인광재료는 여기체가 쉽게 빛이 아닌 열의 형태로 전환되는 단점이 있다. 다시 말하면, 인광재료는 약간의 온도 증가에 의하여 발광효율이 급격히 저하되는 단점이 있다. 인광재료의 경우 조명 소자 응용 시 낮은 휘도에서 높은 전력효율을 달성하였다 하더라도 고휘도 구현이 불가능하거나 고휘도 구동시 전력효율이 급격히 나빠지는 경우가 발생하게 된다. 예를 들면, 1000nit에서 100lm/w의 전력효율을 보여주는 인광재료 조명판넬이 5000nit 이상의 고휘도를 구현하지 못하거나 고휘도에서 신뢰성이 급격히 나빠지는 경우가 발생하게 된다. 그나마 녹색과 적색은 특성이 좋은

인광재료가 개발되어 있으나, 청색 인광재료의 경우 그 동안의 수많은 노력에도 불구하고 아직까지 효율과 수명에서 만족할만한 수준에 도달하지 못한 상황이다. 재료개발 관점에서는 발광 효율과 신뢰성과 같은 특성을 동시에 고려하여 개발하여야 한다. 일반적으로 저휘도 기준의 효율만 높이려는 개발방향은 경우에 따라 전혀 의미가 없을 수 있다. 현재 많은 연구기관 및 조명업체들의 재료특성평가기준을 보면, 디스플레이용 평가기준으로 많이 사용되었던 ~1000nit 기준으로 특성을 발표하는데 과연 ~1000nit 정도의 휘도가 조명으로서 타당성을 갖는 휘도인가? 고민을 해볼 필요가 있다. 이에 비하여 형광재료는 인광재료 대비 상대적으로 낮은 전력효율을 보여주나 고휘도 구현이 유리한 재료이다. 전력효율을 높이는 다른 방법으로 저 전압용 공통층 재료의 개발을 통한 소자구조의 최적화를 들 수 있다. 소자구조 최적화 외에 소자내부에 갇혀 있는 빛을 어떻게 하면 빛을 최대한 많이 밖으로 꺼낼 수 있는가? 에 관련하여 심각하게 고려하여야 한다. 높은 효율을 보이는 소자도 소자 밖으로 나오는 빛의 양이 전체 생성된 빛의 ~30% 내외이다. 대부분의 빛이 소자내부에 갇혀 재 흡수되거나 유리나 ITO의 waveguide mode로 사라지고 만다. 소자내부에 갇힌 빛을 밖으로 효율적으로 꺼내기 위한 공진구조나 내 외부 광추출층 개발이 고성능 OLED 조명 소자 개발에 있어서 반드시 필요하다. 위에서 언급된 것처럼 고효율, 장수명 조명 패널의 특성과 더불어 패널 상의 발광 균일성이 OLED 조명의 응용에 있어서 또 다른 필수 요구사항이다. 조명 패널의 사이즈가 어느 정도 이상이 되면 양극재료로 사용되는 ITO 전극의 불충분한 전도도로 인하여 전원 공급부로부터 거리에 따른 발광 균일도에 문제가 발생한다.

다. 전원 공급부에 인접한 곳은 휘도가 높고 거리가 멀어짐에 따라 점점 어두워 지다가 심지어 발광이 되지 않는 부분이 발생하게 된다. 이를 해결하기 위한 방법은 저저항 보조전극 설계와 높은 전도도를 갖는 투명 전극(Transparent conducting oxide)을 개발, 적용 하는 것이다. 보조전극 설계에 있어서는 현재까지 많은 결과가 보고되어 있으나 고전도도를 갖는 투명 전극의 개발은 현재까지 만족할 만한 상태가 아닌 지지부진한 상황이다. 이와 더불어, 소자의 봉지 특성 또한 중요한 개발요소가 된다. 봉지 수명은 직접적으로 소자의 수명과 연관이 되었을 뿐만 아니라, 패널에서 발생하는 열발생을 효과적으로 제거 해주기 위한 방열판 구조와도 밀접한 관계를 갖고 있으므로 효과적인 봉지특성을 위한 설계 및 재료 개발이 필수적이라 할 수 있다.

고성능 특성 확보와 더불어 사업화 관점에서 보면, 가격 경쟁력 또한 매우 중요한 요소이다. OLED 조명이 가격 경쟁력을 갖추기 위한 노력으로 공정의 단순화나 저원가 재료의 개발을 들 수 있다. 미국의 Department of Energy (DOE) 기준으로 OLED가 LED와 경쟁력을 갖기 위하여 제조원가가 \$16/klm 되어야 한다. 이는 OLED 패널이 4000nit구동 기준으로 \$200/m²에 해당한다. 만약에 패널의 성능이 좋아서 4000nit이상의 고휘도를 구현하면 lm당 원가가 낮아지게 된다. lm당 원가를 낮출 수 있다는 것은 같은 크기의 기판에서 더 높은 수익을 기대할 수 있게 된다는 것을 의미한다. 즉, 조명의 경우는 성능 향상이 직접적으로 사업 경쟁력의 원가에 영향을 미친다는 점을 알아야 한다. 성능 향상 외에도 당연히 공정의 단순화가 필요하다. 공정 단순화 관점에서 미국의 GE사 위주로 roll 공정과 더불어 soluble 유기재료의 도입이 시도되고 있다. Roll

공정은 공정의 단순화라는 큰 장점이 있으나 현재의 상황을 살펴보면 soluble 재료의 특성 열세와, Roll공정에 수반되는 기술의 미확보로 인하여 아직 실제 양산을 생각하기에는 어려움이 많은 상황이다. Roll 공정은 유리기판을 사용한 증착 공정 특성 대비 비슷한 특성 확보를 위하여 당분간 지속적인 개발과 좀 더 많은 시간이 필요한 상황이라 할 수 있다. 신개념 공정개발과 더불어 반드시 고려되어야 할 기초 요구사항은 소자 구조 자체의 단순화 노력이다. 소자 구조단순화 노력은 공정 단순화로 직접 연결 되어 원가절감 사이클에서 선 순환 역할의 원천이 되는 만큼 획기적인 고성능 재료개발에 지속적인 관심을 기울여야 한다.

V. 요약

차세대 조명 광원으로 각광받고 있는 OLED의 개발을 위하여 조명의 기본 요구조건을 충족하면서 OLED 특성을 효과적으로 적용, 홍보할 수 있는 방안이 필요하다. 특성 자체로만 놓고 보면 OLED조명은 경쟁 광원인 LED에 비하여 전력 효율이나 신뢰성 면에서 현재 열세인 것은 분명하다. 열세특성은 지속적인 재료와 소자구조의 개발을 통하여 극복해 나가고, 동시에 디자인 측면과 같은 우세특성과 더불어 저원가, 단순공정 구조의 OLED 조명을 개발해 나간다면 OLED 조명도 조속한 시일 내에 LED와 더불어 차세대 광원으로서 분명히 중요한 위치를 차지할 수 있을 것이다.

저자소개



송 옥 근

1999년 12월 Univ. of Texas-Austin, Post doc.
 1997년 8월 Univ. of Nebraska-Lincoln, Ph. D.
 1989년 2월 충남대학교 석사
 1987년 2월 충남대학교 학사
 2009년 9월~현재 삼성모바일주식회사, 수석연구원,
 OLED조명 그룹장
 2000년 1월~2009년 8월 삼성 SDI, SNMD
 주관심 분야 : OLED, Photovoltaic device, Nonlinear optics



구 영 모

1998년 8월 한국과학기술원 박사
 1994년 2월 한국과학기술원 석사
 1992년 2월 연세대학교 학사
 2009년 9월~현재 삼성모바일주식회사, 책임연구원,
 OLED조명 그룹
 1998년 8월~2009년 8월 삼성 SDI, SNMD