

OLED Displays and Lightings

문 대 규(순천향대학교)

1. 서론

1987년 Eastman Kodak의 C. W. Tang에 의해 현대적인 구조의 OLED (Organic Light Emitting Diode)가 발표된 이래, OLED는 디스플레이 및 조명으로서의 가능성을 넓혀가고 있다. OLED는 양극과 음극 사이에 유기 박막이 놓여 있는 구조로, 양극으로부터 주입된 정공과 음극으로부터 주입된 전자가 유기 박막에서 재결합하여 빛이 생성되는 기존의 LED와 유사한 원리에 의해 구동되는 소자이다. OLED는 고속응답 및 광시야각 등의 우수한 특성과 더불어 유리 기판 상에 박형으로 컬러 화소 어레이의 구현이 가능하기 때문에 LCD, PDP와 더불어 주요 평판디스플레이로 성장하고 있다. 또한 OLED는 점광원, 선광원, 면광원의 형태로 제조가 가능하기 때문에 조명기에 응용될 가능성이 높아지고 있다.

OLED 디스플레이는 수동구동 OLED (PMOLED, Passive Matrix OLED)와 능동구동 OLED (AMOLED, Active Matrix OLED)로 구분되며, AMOLED는 고해상도 및 대면적 디스플레이의 구현에 적합하여 이를 위주로 발

전하고 있다. AMOLED는 1998년에 최초의 시제품이 발표된 이후로 2003년에 디지털 카메라 및 PDA용 디스플레이로 생산이 시도되었으나, 2007년 이후에 본격적인 생산이 이루어지고 있다. AMOLED는 현재 중소형 휴대폰 및 휴대용 정보기기를 중심으로 제품화가 진행되고 있으며, 11인치 TV용 디스플레이 또한 출시되고 있다. 하지만 중소형 디스플레이 제품만으로는 시장 성장의 한계가 있기 때문에 AMOLED를 대형화하려는 노력이 활발히 진행되고 있다. 경쟁력있는 대형 AMOLED를 위해선 대형 TFT backplane, OLED 화소 형성 및 봉지 기술, OLED 재료 기술의 개발이 필수적인 것으로 알려져 있다. 따라서 본 기고에서는 이들 기술의 현황을 살펴보고 향후의 기술 개발 전망을 살펴보겠다.

OLED는 평판디스플레이로서 각광을 받고 있을 뿐 아니라 조명으로서의 가능성도 점점 높아지고 있다. OLED를 조명으로 응용하기 위해선 에너지 효율이 높아야 하는데 최근 100 lm/W 이상의 조명용 백색 OLED가 발표되고 있어, 기존의 형광등 및 각종 조명용 광원의 효율을 증가하고 있다. 미국, 유럽 및 일

본에서는 이러한 가능성을 일찍부터 인식하고 연구개발을 활발히 진행하고 있다. 국내에서도 OLED 조명에 대한 기초 연구를 시작하고 있으나 아직까지 연구개발 투자 및 성과면에서 부족한 것으로 알려져 있다. 따라서 국내에서도 OLED 조명에 대한 본격적인 연구개발이 필요하여 본 기고에서는 이들 기술의 현황을 살펴보고 향후의 기술 개발 전망을 살펴보고자 한다.

II. AMOLED 기술 개발 현황

1. AMOLED backplane 기술

OLED 화소의 구동을 위한 backplane으로 저온다결정 Si (LTPS, Low Temperature Poly-Si) TFT, 비정질 (amorphous) Si TFT, 미세결정질 (microcrystalline) Si, 유기 TFT, 산화물 TFT가 있다.

저온다결정 Si TFT는 이동도가 높아 OLED 구동을 위한 충분한 전류를 공급할 수 있으며 신뢰성이 우수하여 AMOLED backplane으로 가장 일반적으로 이용되고 있다. 저온다결정 Si를 제조하는 방식으로 레이저를 이용하는 방식과 열에 의한 방식이 주로 사용되고 있는데, 레이저를 이용하여 다결정 Si를 제조하는 방식은 이동도가 우수한 반면 특성이 불균일한 것으로 알려져 있다.

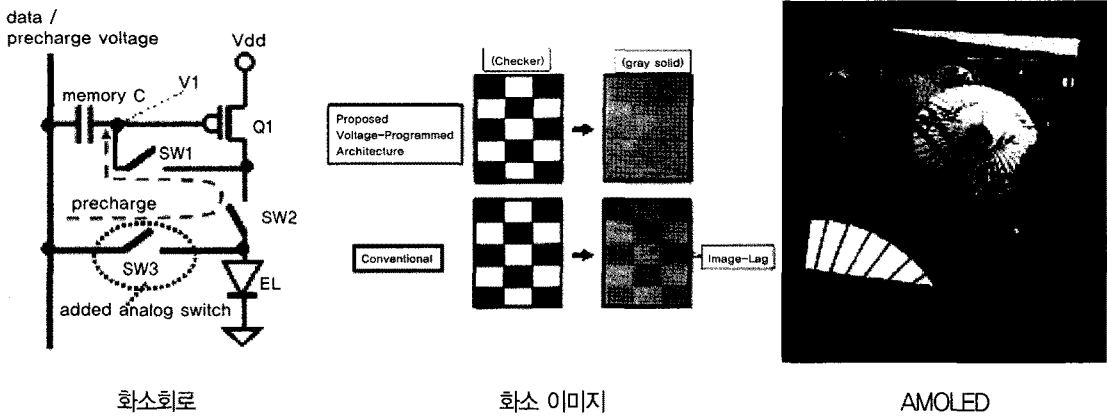
OLED는 LCD와 달리 전류에 의해 휘도를 조절하는 전류구동방식을 사용하기 때문에 OLED 디스플레이의 휘도 균일도는 화소를 구성하고 있는 TFT 특성 균일도에 의해 크게 영향을 받는다. 레이저 결정화에 의한 TFT 특

성 불균일에 의한 디스플레이 휘도의 불균일성을 보상하기 위해 하나의 화소에 여러 개의 TFT를 두어 각각의 화소에 공급되는 전류의 편차를 없애는 방식인 보상회로가 사용되고 있으며, “voltage programming” 및 “current programming” 방식이 주로 이용되어 왔다.

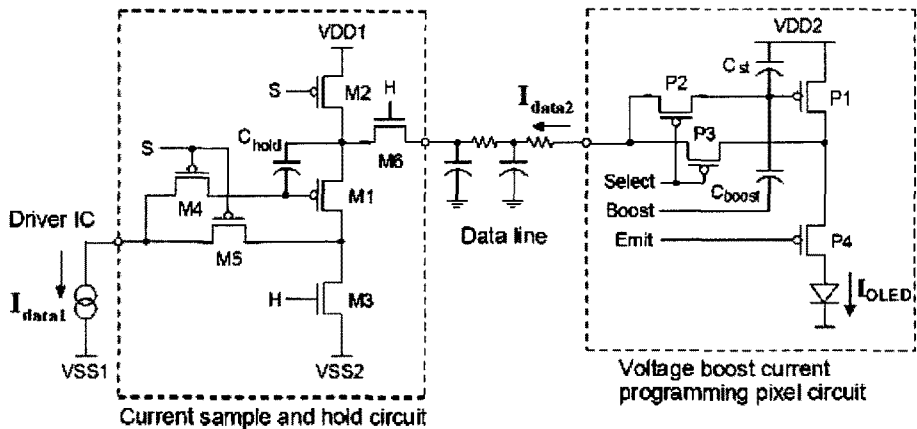
Voltage programming 방식은 기존의 LCD 구동 IC를 사용할 수 있기 때문에 가격적인 측면에서 유리하여 많은 AMOLED에 사용되고 있다^[2]. 이웃하는 TFT의 임계전압(V_{th})을 감지하는 방식과 구동하는 TFT의 임계전압을 감지하는 방식이 있으며, 이를 위해 4개 혹은 5개의 TFT 및 1~2개의 Capacitor가 이용되고 있다. 이러한 voltage programming 방식은 매년 개선되고 있어 AMOLED의 휘도 균일도가 향상되고 있다. 그 일례로 Hitachi Display는 <그림 1>에서처럼 controlled-amplitude precharge를 도입한 voltage programming 방식에 의해 3.0인치의 480×480 AMOLED를 개발하였다. Hitachi 구동회로는 Vdd 4 V에서 image-lag 없이 구동할 수 있는 장점이 있어 기존의 voltage programming 방식을 개선하였다^[3].

Current programming 방식은 임계전압 및 이동도 특성 불균일성을 개선할 수 있는 장점이 있으나 DeMUX (De-multiplexer)를 이용하기 어려운 단점이 있어, 이를 극복하기 위해 여러 가지 방식이 검토되고 있다. 그 일례로 삼성SDI는 <그림 2>와 같은 voltage boost 회로 및 current sample and hold 회로를 이용하여 DeMUX를 구현하였다^[4].

AMOLED의 휘도 균일도를 개선하기 위한 또 하나의 방식으로 외부의 구동 IC에 의해 휘도 불균일성을 감지하고 보상하는 방식이 개발되고 있다. 그 일례로 Kodak에서는



〈그림 1〉 Hitachi에서 개발한 voltage programming 회로 및 3.0inch AMOLED [3]

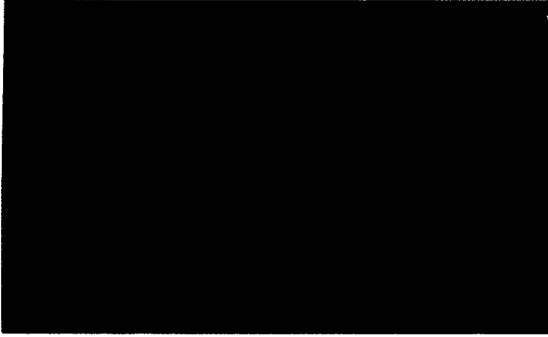


〈그림 2〉 삼성SDI에서 개발한 voltage boost current programming 회로 및 current sample and hold 회로 [4]

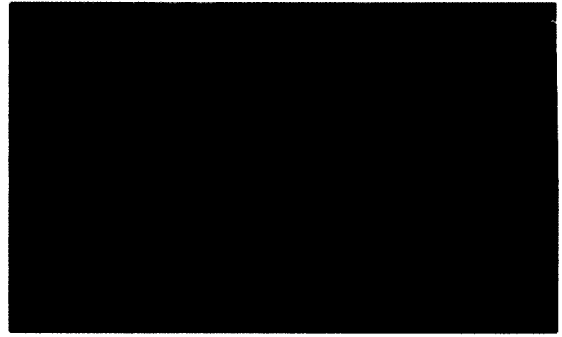
“Global Mura Compensation (GMC)” 기술을 개발하여 LTPS 기반의 AMOLED에서 문제가 되고 있는 휘도 균일도를 크게 개선하였다 [5]. GMC 방식은 화소간의 불균일을 감지한 후 이를 저장한 후, 교정된 데이터를 화소에 쓰는 방식으로 휘도 균일도를 크게 개선할 수 있다 <그림 3>.

LTPS TFT backplane을 위한 다결정 Si의 형성 방식으로 엑시머 레이저를 이용하는 방식

이 가장 일반적으로 사용되어 왔으나, 엑시머 레이저를 이용하는 방식은 균일도가 좋지 않으며 제조 가격이 비싸고 유리 기판 크기의 제약이 있어, 이를 개선할 수 있는 방식으로 알려진 “non-laser”를 이용한 LTPS TFT backplane 기술을 개발하고 있다. 엑시머 레이저 결정화 공정을 대체하기 위해 가장 일반적으로 이용되어온 방식은 600~650°C 이하에서 기판 가열에 의해 비정질 Si를 결정화하는 방식 (Solid



Mura 보상 이전의 LTPS AMOLED



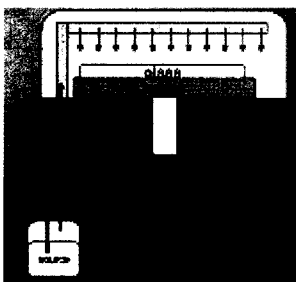
GMC 보상에 의한 LTPS AMOLED

〈그림 3〉 Mura 보상 이전(좌) 및 GMC 보상(우)에 의한 LTPS AMOLED ^[5]

Phase Crystallization, SPC)으로, 결정화를 촉진시키기 위해 Ni 등의 금속 촉매를 이용하는 방식이 일반적으로 이용되어 왔으며, CMEL (Chi Mei EL, 대만 기업) 등은 이 방식을 이용하여 AMOLED 상용화 기술을 개발하고 있다. CMEL은 <그림 4>에 보인 것처럼 촉매 금속을 승화에 의해 비정질 Si 기판에 형성하고 결정화하는 기술인 SDC(Sublimation Deposition and Crystallization) 기술을 개발하고 이를 이용하여 균일도 보상회로를 사용하지 않는 가장 간단한 AMOLED 화소 구동회로인 2TFT/1Cap LTPS AMOLED를 발표하

였다 ^[6]. LG디스플레이는 금속 촉매를 사용하지 않고 SPC를 이용하여 저온 다결정 Si를 형성하는 기술(advanced SPC)을 Viatron과 공동으로 개발하고 이를 이용하여 15인치 AMOLED를 발표하였다 ^[7]. <그림 5>에 advanced SPC 및 S-BDI(Symmetric Black Data Insertion) 구동 기술을 이용한 TFT의 특성 및 15인치 AMOLED를 나타내었다.

비정질 Si TFT backplane은 저가격으로 제조가 가능하고 8세대 이상의 유리 기판 크기의 제조 장비가 상용화되어 있어, 이를 이용하여 대화면 AMOLED를 상용화할 수 있을 경



Ni Sublimation

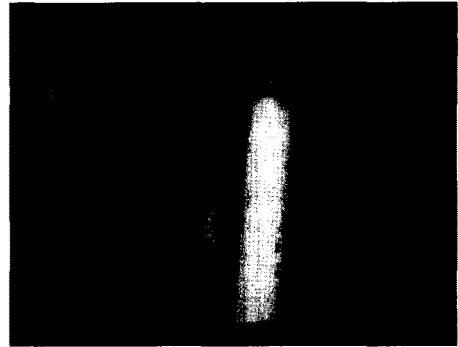
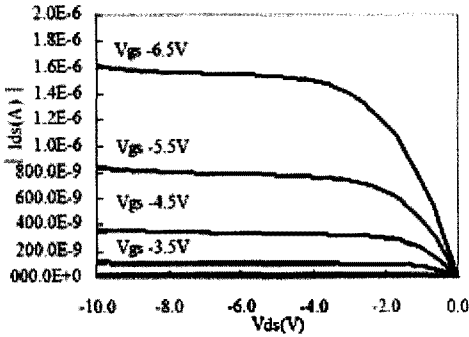


기존 ELA 방식



Non-laser AMOLED (SDC)

〈그림 4〉 CMEL에서 개발한 Ni sublimation에 의한 SDC Non-laser AMOLED ^[6]

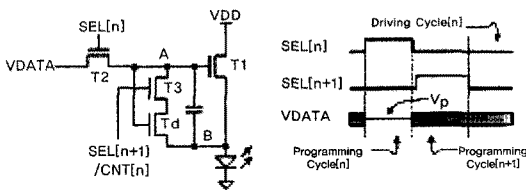


〈그림 5〉 LG디스플레이에서 개발한 A-SPC TFT의 특성(좌) 및 S-BDI 방식을 이용한 15.0인치 AMOLED [7]

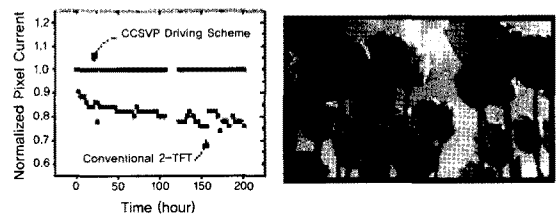
우 AMOLED 산업은 비약적으로 발전할 수 있으나 아직까지 AMOLED 제품에 적용될 수 있을 정도로 신뢰성이 충분한 비정질 Si TFT backplane이 개발되어 있지 않아 이를 개선하기 위한 많은 연구개발이 진행되고 있다. 비정질 Si TFT는 전류의 흐름에 의해 시간이 지남에 따라 문턱전압이 변하게 되어 이에 의해 TFT의 전류공급능력이 저하되어 OLED의 휘도가 감소하게 된다. 비정질 Si TFT의 신뢰성을 향상시키기 위해 제조공정, TFT 구조 등을 변화시키는 방식이 개발되고 있으며 문턱전압 이동을 보상하는 기술에 의해 시간에 따른 전류 감소를 억제하는 “보상회로” 방식이 개발되고 있다. Casio, IBM 등이 보상회로 기술을 개발하였으며, 2007년 Eastman Kodak은

삼성전자와 공동으로 14.1 inch WXGA AMOLED 패널을 발표하였으며 [8], 캐나다의 Ignis Innovation은 SCCVP(Simple Constant Current Voltage-Programming) 구동 기술을 발표하였으며 [9], 대만의 CPT (ChungHwa Picture Tube)와 공동으로 9인치 800×400 AMOLED를 제작하였다 <그림 6>. 2008년 LG디스플레이는 비정질 Si TFT backplane 및 OLED 어레이를 별도로 제작하여 붙이는 방식인 DOD(Dual Plate OLED Display) 기술을 이용하여 <그림 7>과 같은 15인치 XGA AMOLED 패널을 발표하였다 [10].

비정질 Si TFT는 제조공정이 간단하고 대면적으로 제작할 수 있는 반면 신뢰성이 좋지 않아 신뢰성이 비교적 양호하며 비정질 Si TFT

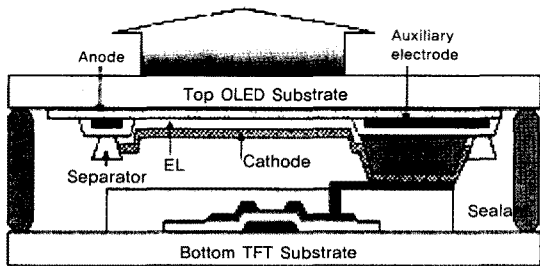


SCCVP 구동회로



9" a-Si TFT AMOLED

〈그림 6〉 SCCVP 구동회로 및 이를 이용한 9인치 비정질 Si TFT AMOLED [9]

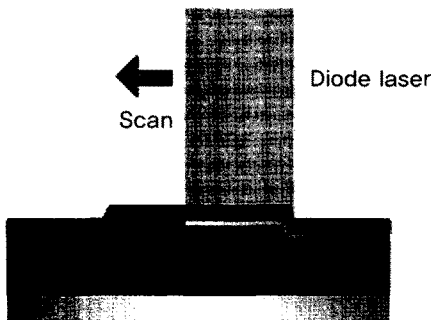


〈그림 7〉 LG디스플레이에서 개발한 DOD 방식의 구조(좌) 및 15 inch XGA AMOLED 패널(우) ^[10]

와 공정이 유사한 미세결정질 Si TFT의 연구 개발 또한 활발히 진행되고 있다. 삼성전자는 2006년 비정질 Si TFT에 비해 신뢰성이 우수한 미세결정질 Si TFT backplane을 이용하여 14.1 inch WXGA AMOLED를 발표하였으며 ^[11], 삼성종합기술원은 2007년 ICP CVD를 이용하여 BCE type의 미세결정질 Si TFT backplane을 이용한 2.2 inch qqVGA AMOLED를 발표하였다 ^[12]. 미세결정질 Si TFT의 제작을 위하여 SiH_4/H_2 , $\text{SiH}_2\text{Cl}_2/\text{H}_2$, SiF_4/H_2 등의 가스를 이용하여 PECVD에 의해 미세결정질 Si를 증착하는 방법이 널리 이용되어 왔으나, 미세결정질 Si의 균일도, 증착속도 등 제조 공정 및 TFT 특성 균일도 등의 개선이 필요한

것으로 인식되고 있다. 2007년 소니는 새로운 방식(dLTA : diode Laser Thermal Anneal)의 미세결정질 Si TFT 제조 기술을 발표하였으며 이를 이용하여 27.3 inch HD AMOLED를 발표하여 대화면 AMOLED의 상용화 가능성을 높였다 ^[13]. dLTA 방식은 〈그림 8〉에 나타난 바와 같이 금속을 비정질 Si 위에 증착하고 파장 800 nm의 다이오드 레이저에 의해 결정화한 후 금속을 제거하여 비정질 Si를 미세결정질 Si로 변화하는 방법으로, 이에 의한 미세결정질 Si TFT는 50°C , $1\ \mu\text{A}$ 에서 100,000 시간동안 동작할 경우에도 임계전압 상승이 크지 않아 TV용 AMOLED로 충분한 신뢰성을 보였다.

최근 비정질 IGZO(Indium Gallium Zinc



〈그림 8〉 dLTA의 개념 (좌) 및 이를 이용한 27.3 inch AMOLED ^[13]

Oxide)와 같은 산화물을 이용하여 TFT backplane을 제작하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. a-IGZO는 다결정 Si TFT에 비해 균일도가 우수하며 $10\text{cm}^2/\text{Vs}$ 이상의 이동도를 얻을 수 있고 대면적으로 제작이 가능하여 차세대 TFT backplane으로 각광받고 있다. 2008년 삼성SDI는 다결정 IGZO 타겟을 이용하여 상온에서 스퍼터링 함에 의해 신뢰성이 향상된 a-IGZO TFT를 제작하고 이를 이용하여 12.1 inch WXGA AMOLED를 제작하여 상용화 가능성을 한층 높였다^[14]. <그림 9>에 이를 이용한 TFT의 특성 및 AMOLED를 나타내었다.

2. AMOLED 화소 형성 기술

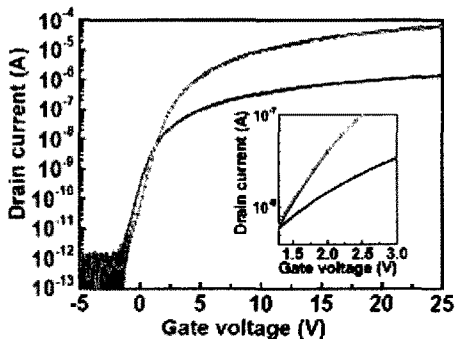
OLED의 화소 형성 기술로 세도우 마스크를 이용하는 방식, 전이에 의한 방식, 잉크젯 프린팅에 의한 방식, 색변환 방식이 알려져 있다. 세도우 마스크를 이용하는 방식이 현재 생산에 가장 일반적으로 이용되고 있으며, 백색 OLED+Color Filter를 이용하는 방식, 전이 방식, 잉크젯 프린팅 방식 등이 개발되고 있다.

백색 OLED+Color Filter를 이용하는 방식은

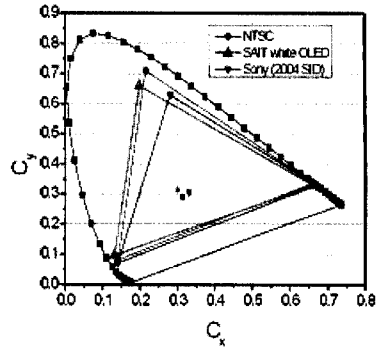
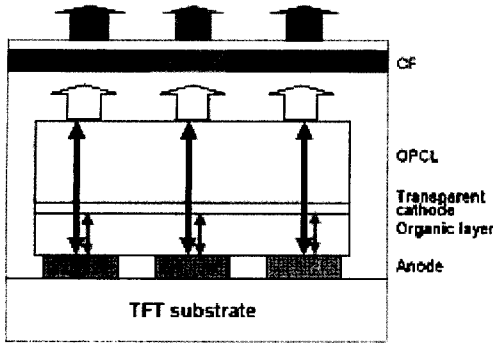
고해상도 및 대면적의 구현에 유리하기 때문에 많은 연구개발이 진행되고 있다. 2005년 삼성전자는 이 방식에 의해 40인치 AMOLED를 제작하였으며, 최근에서는 삼성종합기술원에 백색 OLED+Color Filter+OPCL (Optical Path Control Layer)를 이용하여 색재현율이 90%이며 해상도가 우수한 308ppi 3.0inch WVGA AMOLED를 발표하였다^[15]. <그림 10>에 이의 단면구조 및 색재현율을 표시하였다. 또한 삼성전자는 최근에 microcavity를 이용하여 100% 색재현율을 갖는 RGBW AMOLED를 발표하였다^[16].

삼성 SDI는 수년동안 LITI (Laser Induced Thermal Imaging) 기술을 이용하여 OLED 화소를 형성하는 기술을 개발하고 있으며 2.0 inch QVGA AMOLED를 발표하였다. 또한 삼성 SDI는 LITI를 이용한 4세대 pilot 설비를 갖추고 생산에 적합한 LITI 기술을 개발하고 있다. <그림 11>에 LITI 기술의 개념 및 3M에서 최근 발표한 LITI를 이용한 OLED의 성능을 나타내었다^[17]. OLED의 수명은 빠른 속도로 개선되어 2007년에는 100,000 시간 이상으로 상용화 수준에 도달하고 있다.

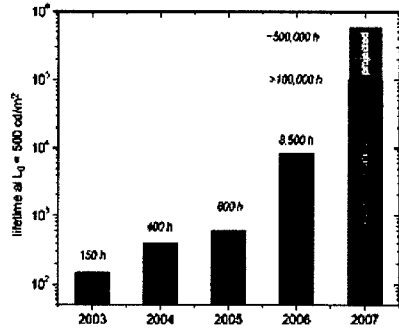
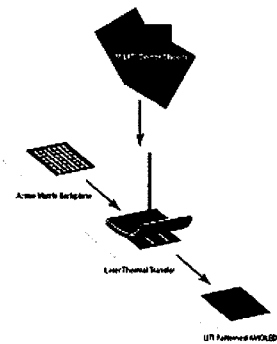
2007년 소니는 새로운 전이방식인 LIPS



<그림 9> a-IGZO TFT의 특성(좌) 및 12.1 inch WXGA AMOLED(우)^[14]



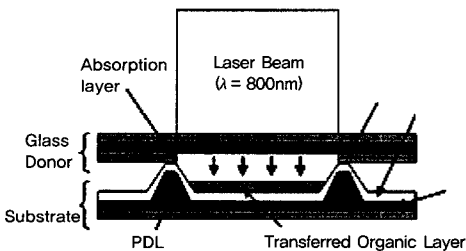
〈그림 10〉 백색 OLED + Color Filter + OPCL을 이용한 AMOLED의 단면구조(좌) 및 색좌표(우) [15]



〈그림 11〉 LITI 기술의 개념 (좌) 및 LITI 방식에 의한 OLED의 수명 향상 (우) [17]

(Laser-Induced Pattern-wise sublimation) 기술을 발표하였다 [18]. LIPS는 <그림 12>에 나타난 바와 같이 도너 기판이 되는 유리 기판 위에 일반 진공증착기를 이용하여 유기물을 증착한 후 증착된 기판을 공기 중에 노출시키지

않음과 동시에 대향 기판에 미리 설정된 PDL (Pixel Defined Layer)에 의해 유기물과 기판을 접촉하지 않게 하는 비접촉식 전이기술이다. LIPS 방식에 의해 유기물 증착 패턴의 위치를 정교하게 조절하루 수 있으며 기존 진공증착 방식에 의한 OLED 성능에 근접하는 특성을 얻을 수 있는 장점이 있다.



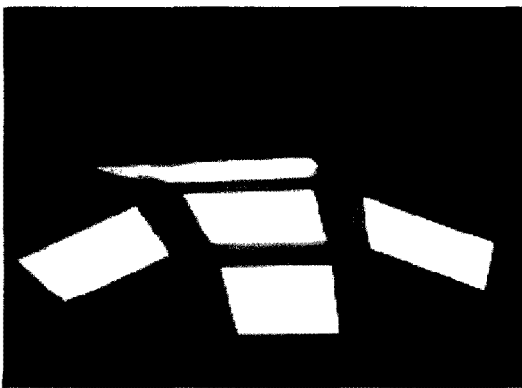
〈그림 12〉 LIPS 방식의 개요 [18]

III. OLED 조명 기술 개발 현황

백색 OLED를 위주로 OLED 조명 기술 개발이 진행됨에 따라 백색 OLED의 특성은 빠

른 속도로 향상되고 있다. Yamagata 대학의 Kido 교수는 <그림 13>에 나타낸 바와 같이 MPE (MultiPhoton Emission) 구조 및 형광 재료를 이용하여 14cm×14cm 크기의 백색 OLED 패널을 발표하였다^[19]. 백색 OLED의 효율은 5000cd/m²에서 20lm/W 였다. 코니카 미놀타는 최근 300cd/m²에서 16,000시간의 수명을 갖는 인광 재료를 개발하고 이를 백색 OLED에 적용하여 1000nit에서 37lm/W의 효율을 갖는 조명 소자를 개발하였다. 소자의 구동 전압은 3.7V 였으며, 색좌표는 (0.39, 0.43), 연색지수는 76이었다. 또한 코니카 미놀타는 광추출 효율 향상 기술을 이용하여 64 lm/W의 전력효율 및 수명 10,000시간의 백색 OLED 소자를 개발하였다. 소자는 열안정성 및 색안정성에 있어서도 우수한 특성을 보였다. 미국의 대표적인 인광 OLED 소재 및 소자 개발 회사인 UDC(Universal Display Corporation)는 1000 nit에서 25 lm/W의 효율을 갖는 백색 인광 OLED를 개발하였으며, 최근에는 108lm/W의 효율을 갖는 OLED 소자를 발표하였다.

독일의 대표적인 OLED 재료 및 소자 회사



<그림 13> Kido 교수팀에서 개발한 백색 OLED 조명^[19]

인 Novaled는 ITO 및 AZO (Aluminum doped ZnO) 양극을 이용한 형광 백색 OLED를 개발하였으며, 이를 이용하여 150 mm×150 mm 기판 크기의 광원 및 80 mm×80 mm 발광 면적을 갖는 광원을 제작하여 발표하였다. Novaled는 pin OLED 기술을 이용하여 1000 nit에서 3.1~3.2V의 구동전압, 11~12 lm/W의 효율을 갖는 백색 OLED를 개발하였으며, 최근에는 tandem 구조를 이용하여 1000nit에서 35lm/W, 색좌표 (0.43, 0.44), 연색지수 90의 뛰어난 특성을 갖는 백색 OLED를 발표하였다. 이 백색 OLED의 수명은 1000nit에서 100,000시간 이상으로 발표하고 있어 OLED 조명의 상용화 가능성을 더욱 높이고 있다^[20].

IV. 결론 및 향후 전망

소형 AMOLED는 휴대폰과 같은 소형 정보 기기용으로 상용화된 제품이 출시되고 있으나, AMOLED의 시장을 더욱 확대시키기 위해선 대형 TV 등에 응용될 수 있어야 하며 이를 위해선 OLED의 대형화가 필수적이다. 대형 AMOLED의 상용화를 위해선 이에 적합한 대형 backplane 기술, 대형 기판에 적합한 화소 형성 기술 및 고효율 장수명 OLED 재료/소자의 개발이 필수적이다. 이들 기술은 해마다 빠른 속도로 발전하고 있으며 새로운 개념의 기술이 출현하고 있어 대형 AMOLED가 상용화에 대한 기대가 점점 높아지고 있다. 조명을 위한 백색 OLED 기술 또한 빠른 속도로 발전하여 108lm/W의 효율이 보고되고 있으며 상용화 수준에서 100lm/W의 효율을 갖는 백색 소자를 위한 연구개발이 활발히 진행되

고 있어 OLED 조명은 조명 산업의 비약적인 발전을 가져올 수 있는 새로운 조명으로 자리매김 할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] C. W. Tang and S. A. VanSlyke, "Organic electroluminescent diodes", *Appl. Phys. Lett.* 51, 913 1987.
- [2] N. Komiya, C. Y. Oh, K. M. Eom, Y. W. Kim, S. C. Park and S. W. Kim, "A 2.0 in. AMOLED panel with voltage programming pixel circuits and point scanning data driver circuits", *IDW'04*, 283, 2004.
- [3] T. Kohno, M. Miyamoto and H. Kageyama, "3.0 inch high-resolution low voltage LTPS AMOLED display with novel voltage programmed driving architecture", *SID'07*, 1382, 2007.
- [4] D. Y. Shin, Y. Matsueda and H. K. Chung, "New current demultiplexer TFT circuits for AMOLED", *IEICE Trans. Electron.*, E88-C, 2051, 2005.
- [5] T. Tsujimura, W. Zhu, S. Mizukoshi, N. Mori, K. Miwa, S. Ono, Y. Maekawa, K. Kawabe and M. Kohno, "Advancement and outlook of high performance Active-Matrix OLED displays", *SID'07*, 84, 2007.
- [6] D. Park, "Challenges for the AMOLED production", *KDC'07*, seminar presentation, 2007.
- [7] S. H. Jung, H. K. Lee, C. Y. Kim, S. S. Yoon, C. D. Kim, and I. B. Kang, "A 15-in. AMOLED display with SP TFTs and a symmetric driving method", *SID'08*, 101, 2008.
- [8] J. W. Hamer, A. D. Arnold, M. Itoh, K. Miwa, C. I. Levy, J. E. Ludwicki, D. C. Scheirer, and S. A. VanSlyke, "System design for a high color gamut TV-sized AMOLED display", *SID'07*, 1574, 2007.
- [9] G. R. Chaji, S. Alexander, A. Nathan, C. Church, and S. J. Jang, "A low cost stable amorphous Silicon AMOLED display with full Vt and VOLED shift compensation", *SID'07*, 1580, 2007.
- [10] C. W. Han, O. H. Kim, S. J. Bae, M. K. Lee, W. J. Nam, Y. H. Tak, I. B. Kang, and I. J. Chung, "15-inch XGA Dual-plate OLED display(DOD) based on amorphous Silicon (a-Si) TFT backplanes", *SID'08*, 5, 2008.
- [11] K. S. Girota, J. H. Souk, K. H. Chung, S. K. Lim, S. Y. Kim, B. J. Kim, S. H. Yang, B. R. Choi, J. C. Goh, Y. R. Song, Y. M. Choi, "A 14.1 inch AMOLED display using highly stable PECVD based microcrystalline Silicon TFT backplane", *SID'06*, 1972, 2006.
- [12] J. S. Jung, K. B. Park, M. K. Ryu, S. Y. Lee, J. M. Kim and J. Y. Kwon, "2.2 inch qqVGA AMOLED driven by Si TFT with active layer deposited at room temperature", *SID'07*, 1584, 2007.
- [13] T. Urabe, T. Sasaoka, K. Tatsuki, and J. Takaki, "Technical evolution for large size active matrix OLED display", *SID'07*, 161, 2007.
- [14] J. K. Jeong, J. H. Jeong, J. H. Choi, J. S. Im, S. H. Kim, H. W. Yang, K. N. Kang, K. S. Kim, T. K. Ahn, H. J. Chung, M. K. Kim, B. S. Gu, J. S. Park, Y. G. Mo, H. D. Kim, and H. K. Chung, "12.1 inch WXGA AMOLED display driven by Indium-Gallium-Zinc Oxide TFTs array", *SID'08*, 1, 2008.
- [15] S. Y. Kim, M. G. Kim, S. H. Lee, J. B. Song,

S. Tamura, S. K. Kang, and J. M. Kim, "3.0 inch 308-ppi WVGA AMOLED by top-emitting white OLED with color filter", SID'08, 937, 2008.

- [16] B. W. Lee, Y. I. Hwang, H. Y. Lee, and C. W. Kim, "Micro-cavity design of RGBW AMOLED for 100% color gamut", SID'08, 1050, 2008.
- [17] M. B. Wolk, S. Lamansky, and W. A. Tolbert, "Progress in laser induced thermal imaging of OLEDs", SID'08, 511, 2008.
- [18] T. Hirano, K. Matsuo, K. Kohinata, K. Hanawa, T. Matsumi, E. Matsuda, R. matsuura, T. Ishibashi, A. Yoshida, and T. Sasaoka, SID'07, 1592, 2007.
- [19] J. Kido, "High performance OLEDs for displays and general lighting", SID'08, 931, 2008.
- [20] J. Birnstock, G. He, S. Murano, W. Werner, and O. Zeika, "White stacked OLED with 35 lm/W and 100,000 hours lifetime at 1000 cd/m² for display and lighting applications", SID'08, 822, 2008.

저자소개



문 대 규

1988년 연세대학교 세라믹공학과 학사
 1990년 KAIST 재료공학과 석사
 1994년 KAIST 재료공학과 박사
 1993년-1998년 LG디스플레이 선임연구원
 1999년-2000년 옥스퍼드대학 post.doc.
 2001년-2005년 전자부품연구원 책임연구원
 2005년-현재 순천향대학교 교수

주관심 분야 : OLED, TFT-LCD, Flexible Display,
 Organic Solar Cell, Organic Sensor