

특집 : 정보 디스플레이의 광인 응용기술

유기EL의 기술동향 및 시장전망

김성원 <삼성 SDI 기술본부 차장>

1. 머리말

Display Device시장은 오랫동안 CRT(Cathode Ray Tube)의 독무대라고 할 수 있었다. 1890년대에 도입된 CRT의 개념은 그 동안 수많은 혁신과 개량을 통하여 흑백을 거쳐 Color시대에서도 가장 친숙한 Display로 자리를 굳혀 왔다. 이러한 CRT의 아성은 수많은 New Display등의 도전을 성공적으로 막아 왔지만 1990년대 들어서 Flat화와 Mobile화의 진전으로 인한 FPD(Flat Panel Display)의 시장성장으로 새로운 국면으로 전개되기 시작하였다. 그 중에서도 Notebook PC의 도입과 함께 얇고 가볍고 저소비전력의 Display가 요구되면서 새로운 시장에 적당한 성능을 보유한 LCD(Liquid Crystal Display)가 급격히 시장을 넓혀 가게 되었다.

CRT가 갖고 있는 약점인 증광과 부피의 문제를 해결한 FPD들의 시장공세는 소형의 Mobile시장에서 더욱 빛을 발하고 있다. 더욱이 Mobile Communication의 Infra가 급속하게 확대, 고속화되고 있는 90년대 중반이후, 저소비전력, 고해상도의 Mobile Display에 대한 요구가 높아지고 있어서 그 발전속도는 더욱 빨라질 것으로 보인다. 한편, FPD의 선두격인 LCD는 빛을 받아서 Display하는 수광 소자로서

특성적으로 CRT의 화질과 비교하여 화질성능이 떨어지고 특유의 응답속도 문제로 인하여 동영상 구현 및 시야각 확보등에서 약점을 안고 있다.

2. EL Display의 변천

이러한 Display시장의 환경변화와 더불어 각광을 받기 시작한 것이 EL소자, 그 중에서도 유기EL소자이다. EL(Electroluminescence)현상은 1930년대에 발견된 무기형광체 분말을 이용한 발광현상을 일컫어 왔다. 이러한 무기소재를 이용한 EL은 그동안 Display소자로서는 큰 발전을 이루지 못한 채 Back Light로서의 가능성을 추구하는데 그쳐 왔다. 그런데 90년대에 들어서면서 유기박막에 전류를 흘려 발광을 얻는 유기EL의 연구가 급진전되면서 차세대 Display로서 각광을 받기 시작하고 있다. 차세대 Display로서 유기EL이 각광받는 이유는 무엇인가? 그것은 앞에서 이야기한대로 바로 Display Device시장에서 추구하고 있는 Flat화, Mobile화 그리고 고화질화에 가장 적합한 Display라는 평가 때문이다.

한편, 무기EL이 Display로서 각광을 받지 못한 이유는 full color화가 늦었기 때문이다. 무기 EL display의 full color화가 늦은 원인은 효율적인 청색

발광 재료의 부재가 그 원인이었다. 그러나 무기EL과 관련한 연구는 착실하게 진행되고 있어 그 가능성이 아주 사라진 것이라고 할 수는 없다. 최근에는 (주)덴소가 개발한 차재용 EL display를 탑재한 차가 판매되고 있는 것 외 Canada의 iFire사가 17inch full color Television을 시작하는 등, 활기를 되찾고 있는 것으로 보인다. 그러나 Display Device로서 추진되고 있는 유기EL의 연구개발과 비교할 수는 없는 실정이다. 유기EL은 그 재료의 개발이 미국 및 유럽의 대기업들에 의하여 연구되면서 세계적으로 개발 Boom을 이루고 있다. 유기 EL과 같은 자발광 device에 있어서 발광효율의 향상은 발광색의 full 색채화와 동시에 실용상 가장 중요한 과제로 여겨져 왔다. 지금까지 유기 EL 소자는 재료적인 측면에서 R, G, B 3원색 발광소자 및 백색소자를 중심으로 개발이 진행되어 왔다. 그 중에서 파랑 및 녹색 발광재료에 관해서는 고효도, 고효율화가 이미 달성됐고 실용 level에 가까워지고 있다.

한편, 백색 발광소자에 관해서는 효율, 수명특성이 모두 아직 불충분하고 그 특성향상이 강력히 요구되고 있다. 백색 발광소자는 조명분야의 전개가 가능해져 light sign을 비롯한 직시형 sign이나 간접조명, 또한 LCD용 back light와 같은 용도로 이용할 수 있다. 단지 백색 EL을 조명분야에 응용하고자 하는 경우, 현재의 형광등방식, 백색 LED에 대한 대비가 되기 때문에 display분야 이상의 고효율화가 요구되어진다. Display로서는 고효율 백색 발광소자가 실현되면 color filter와 조합시킴으로써 full color display화가 가능하게 된다. 그러나 일반적으로 Color Filter를 사용하는 경우에는 투과율 저하에 따른 휘도 저하와 Cost의 상승이라는 측면 때문에 경쟁력의 약화를 피할 수 없게 된다. 따라서 Display분야에서는 백색발광소자를 이용하는 방식보다는 R, G, B를 따로 Deposition하는 방식이 유력하게 개발되고 있고 단지 최근에 eMagin社에서는 백색EL을 Silicon Chip위에 올려놓고 Color Filter를 이용한 Head Mount

Display를 개발하고 있는 것으로 알려져 있다.

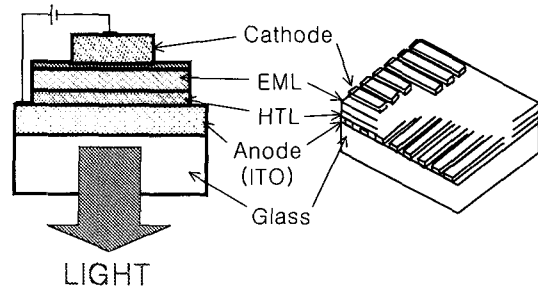


그림 1. Passive Matrix 유기EL의 구조

3. 유기EL Display의 최근 동향

지금부터는 최근에 각광받고 있는 R, G, B를 유기 재료를 이용하는 발광소자의 Display분야의 적용기술 및 시장전망에 대하여 이야기해보자. 최근에 개발되는 유기EL의 종류는 크게 나누어 저분자 유기 EL과 고분자 유기 EL type으로 분류할 수 있다. 1999년에 제품화된 유기 EL display는 저분자형 passive type으로, 일본 동북 pioneer에서 세계에서 처음으로 양산화하였다. 이후에 이어서 일본의 TDK에서도 양산이 start되었고 국내에서는 삼성SDI와 LG에서 금년 내에 각각 양산에 들어갈 예정이라고 밝히고 있다. 우선 이들 maker에서 양산화되고 있는 유기 EL display는 모두 저분자 passive matrix type의 유기 EL 재료를 사용한 것으로 segment type의 multi-color중심의 사양으로 양산되고 있거나 준비 중이었으나 최근에는 Full Color제품의 개발이 급속히 진전되어 곧 Full Color제품이 양산될 것으로 전망되고 있다. 또한 유기EL은 Passive Matrix제품 뿐이 아니라 Active Matrix Type으로도 개발되고 있다. 이에 따라 실제로 사용된 application이 car stereo 등의 차재 monitor나 일부의 휴대전화 등에 한정되어 있었으나 향후로는 소형 Mobile의 모든 Display분야는 물론이고 Monitor 및 Digital TV시장용으로도 개발이 진행될 것이라 예상하고 있다.

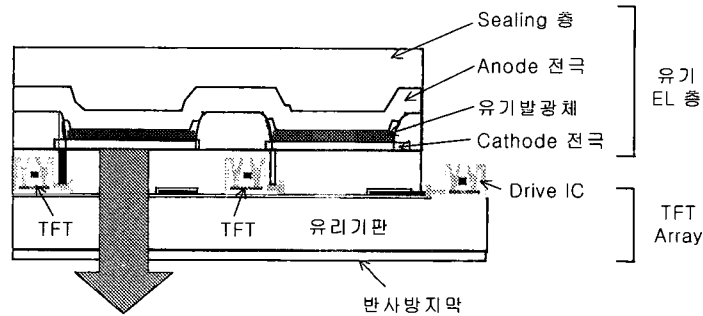


그림 2. Active Matrix 유기EL의 구조

현재, 유기 EL Display의 full color · dot matrix화를 진행하고 있는 maker는 Philips, Pioneer, 산요전기, 세이코엡슨, 삼성SDI, LG, Sony 등의 기업이다. 이 중, Pioneer와 산요전기에서는 저분자형의 RGB 3색의 유기 EL 재료를 진공증착 등의 기술로 칠하는 방법(진공증착법)을 중심으로 연구하고 있다. 한편, Philips와 세이코엡슨에서는 고분자형의 RGB 3색의 유기재료를 ink jet printer를 활용해 칠하는 방법(인쇄법)을 연구하고 있다. 이 중 저분자형 이용한 진공증착법은 어느 정도 성숙한 기술로, 현재 사용되고 있는 LCD와 동 level 정도의 정밀도로 칠하고자 하는 목표가 세워져 있다. 그러나 진공계를 쓰기 때문에 tact time이 길고 yield를 올리기 어려운 등 양산성 확보에 과제가 많고, 저분자형 유기 EL 재료의 발광수명이 짧은 문제 등, 해결해야 할 과제는 아직 많이 남아 있다. 그러나 세계적인 소재 업체들이 유기EL 재료의 발광효율이나 발광수명 등의 연구개발을 진행하고 있으므로 기술적인 난점들은 곧 해결될 전망이다. 우선은 휴대전화나 차재 monitor 등을 중심으로 중소형 size의 flat-panel display시장에 점차로 침투해 갈 것으로 예상하는 것이 주종을 이루고 있다.

2000년 SID학회에서 Sanyo는 Kodak과 함께 5.5" 저분자 AM OLED를 전시하였고 이러한 시나리오는 정확한 것으로 여겨졌다. 그런데, 2001년 들어 SONY는 저분자재료를 활용한 13"급의 AM OLED를 발표

하였고 이것은 여러가지 측면에서 상당한 반향을 일으키고 있다. SONY는 대형화를 전제로 한 기술개발을 통하여 Mobile시장을 넘어서 2003년까지 곧바로 Display의 main시장인 Monitor, TV시장을 노리겠다는 전략이다. 이러한 전략은 현재 FPD의 핵심인 TFT LCD개발의 역사와 비교하여 보면 흥미로운 점이 있다. 1988년대 후반 포켓 액정 TV용 3인치급 패널의 양산에 TFT 액정패널 회사는 고전했다. 그 당시 모든 회사들은 10인치형 이상의 대형화는 어렵다고 생각하고 있었다. 거기에 샤프가 14인치형을 TFT 컬러 액정으로 실제 증명해 보임으로 하여 대형화의 개발이 활발해졌다. 그리고 1991년의 10인치급 TFT 액정 패널을 채택한 컬러 노트 PC의 실용화에 연결되어 TFT 액정이 큰 산업으로서 확립되었다.

이러한 a-Si TFT 액정 패널의 역사와 비교하여 보면 소니가 대형 AM 방식 풀컬러 유기 EL 패널의 실용화를 2003년으로 설정했다는 것이 반드시 무리한 목표가 아닐지도 모른다는 생각이 들 수 있다. 발표 담당자는 「2003년에 20~30 인치급의 대형 Flat Panel HDTV 수상기를 실용화 시키고 싶다.」(소니 Core Technology & Network Company 유기 EL 개발부 총괄부장인 占部哲氏)라는 꿈을 부풀어 오르게 하고 있다. 占部哲氏는 소니에서 오랫동안 액정 패널의 개발을 담당해왔다고 한다. 그는 정보 표시 디바이스로는 TFT 액정 패널이 주류라는 것을 의심

할 여지가 없다고 생각하나 동화상 표시 디바이스로서는 유기 EL 쪽이 잠재력이 높다고 생각한다고 한다. 물론 이번에 발표한 Poly-Si 방식의 풀 칼라 유기 EL은 아직 과제가 많다는 것을 충분히 알고 있다. 커다란 과제 중 하나가 수명이라는 것도 변하지 않았다. 발광효율의 향상도 과제이다. 따라서 Sony의 발표에서는 수명과 발광효율은 공표하고 있지 않다. 실용화를 겨냥한 목표는 수명이 1만시간, 발광효율이 2[lm/W] 가 하나의 목표로 하고 있다. 휘도와 콘트라스트에 관해서는 각각 300[cd/m²], 콘트라스트 200:1(500 LUX/h)를 실현 한다는 목표가 있다. 금번의 유기 EL도 저분자계의 증착법으로 형성되어있다.

한편 고분자 재료를 이용하는 경우에는 ink jet printer를 활용하여 고분자형 유기 EL 재료를 dot matrix로 칠해 가는 기술이 활발하게 진행되고 있다. 그러나 아직 현재 시판되는 AM LCD level의 해상도까지는 달성하지 못하였다. 또한 고분자형 유기 EL 재료의 발광효율도 저분자형재료에 비해서 아직 상당히 낮은 것이 현실이다. 그러나 최근 2~3년의 재료개발의 경향을 보면, 고분자형 유기 EL 재료가 발광효율에 있어서 저분자형유기 EL 재료를 능가하는 시기도 그다지 멀지 않은 것으로 예상된다. 또한 저전압에서도 구동이 가능하고 Digital 구동등의 보완이 완성된다면 Mobile시장에서도 혁신적인 제품이 곧 나올 수 있으리라고 보인다. 결국, 고효율 고분자 유기 EL 재료의 개발만 극복할 수 있으면 더욱 현재 급속히 기술혁신이 진행되고 있는 저온 poly-silicon TFT 기술을 회로기술에 이용해 인쇄법의 장점인 양산성을 살리고 대화면 display를 효율적으로 양산하는 것이 가능해질 것이다. 현재는 Seiko-Epson등이 Ink Jet Printing 분야에서 상당한 진전을 보아 Full Color 제품을 곧 선보일 예정이라고 한다.

4. 유기EL 개발의 향후 과제

1) 재료의 개발 및 Cost Down

앞에서도 말했지만 유기EL (Electroluminescence) 소자의 재료는 저분자계와 고분자계의 두가지로 구분된다. 이 중에서 저분자계는 1987년 미국 「Eastman Kodak Co.」사의 C.W.Tang씨가 발표하였고 주로 이 회사에서 특허들을 보유하고 있다. 한편, 고분자계는 1990년에 영국 「Cambridge」 대학의 그룹이 보고하였고 이 대학 출신들이 설립한 CDT(Cambridge Display Technology)등이 특허를 보유하고 있는 것으로 알려져 있다. 저분자 재료의 개발에서는 아직 Red의 특성이 확보되지 않았고 또한 신뢰성이 검증되어 있지 않은 것이 문제이다. 일반적으로 Display로서는 20,000시간 정도의 수명이 보증되어야 하는데 아직 이 수준에는 이르지 못하고 있는 것이다. 또한 현재 재료를 공급하는 곳이 Kodak등 몇 군데로 한정되어 원가의 상승 또는 최소한 특허에 따른 Royalty의 문제가 양산화에 걸림돌로 작용할 가능성도 배제할 수 없다.

고분자계 재료는 원래, 자유로운 가공, 내열성 우수, 기계적으로 강하고 3V이하의 저전압으로 점등되는 등의 장점이 있었다. 최근에는 발광효율과 수명부분에서 선행했던 저분자계 재료와 동일한 수준까지 발전되었다고 하지만 아직 재료의 개발이 완벽히 이루어지지 못하고 있는 상황이어서 상용화까지는 적어도 2 ~ 3년의 개발기간이 더 필요할 것으로 보고 있다.

2) 구동법과 Patterning 방법

Full Color화에는 화소마다 계조를 제어할 수 있는 구동기술과 R, G, B의 미세 Patterning이 필요하다. 그러나 아직까지 저분자의 경우에서도 기술적인 문제가 해결되지 않고 있다. 유기EL Panel의 구동법에는 이미 설명한 대로 액정 Panel과 동일하게 Passive Matrix 구동과 Active Matrix 구동이 있다. 그러나 액정 Panel은 전압제어로 구동하는 반면, 유기EL Panel은 전류제어로 구동한다. 따라서 액정 Panel의 구동기술을 그대로 유기EL Panel의 구동기술로 이용

할 수 없다. Passive Matrix 방식은 대화면화와 저소비전력화에 문제가 있어 중형이상의 Full Color의 Mobile Display로서는 한계가 있다. 또한 Drive IC의 초기 가격이 높을 것으로 예상되어 원가적인 측면에서도 문제가 될 소지가 있는 것으로 생각되고 있다. Active Matrix 방식에 있어서도 LCD보다 상대적으로 큰 Mobility 특성을 필요로 하므로 일반적으로 저온 Poly-silicon TFT를 채용하거나 또는 다른 구동소자를 고안해 내야 한다는 점 또한 상용화의 걸림돌로 작용하고 있다.

지금까지 채용되는 방식인 Poly-Silicon TFT의 경우에는 공정의 수가 α -Si 보다 많고 Laser 를 활용한 Annealing 등으로 인한 공정온도 등의 문제가 있어 수율향상에 문제점을 안고 있다. 그러나 최근에는 이러한 문제점들을 극복하고 수율의 향상을 달성하는 업체들이 늘어나고 있는 추세이다. 앞에서도 언급하였던 Sony의 13"급 AM OLED에서는 구동하는 회로를 새로이 개발하였다. 이번에 발표된 유기 EL 소자의 구동회로에는 4개의 TFT 소자로 하나의 유기 EL을 구동하는 방식을 채용했다. 이렇게 하여 종래에 대화면에서 문제가 되던 Threshold Voltage의 변화로 인한 Uniformity의 저하문제를 해결하였다고 한다. 반면에 종래의 회로보다도 TFT 소자가 늘어난 것으로 소비전력은 커지지만 광투과성 캐소드를 채용하여 개구율을 높임으로써 효율향상으로 문제를 해결하였다. 이전에는 TFT 소자간을 통과해서 글라스 패널 쪽에서 빛을 외부에 방출했는데 급변은 종래 급속성이었던 캐소드를 광투과성의 무기재료로 제조한 덕분에 TFT 소자는 역방향에 빛을 방출한다. 소니는 이 구조를 Top Emission 구조라고 한다. 이러한 방향으로 구동에 대한 개선이 되고 있지만 아직도 개선되어야 하는 부분이 많이 존재하는 것이 현실이다.

Patterning에 관해서는 두께 0.1[μ m]이라는 상당히 얇은 유기박막이 대상이 됨으로 기존의 노광기술이 통하지 않는다. 따라서 저분자 재료계에는 Metal

Mask로 부분 증착 Patterning공정이 적용되었다. 그러나 이 방법으로는 고정세화, 대면적화, 양산성에 한계가 있다고 거론되고 있다.

앞서 이야기 한대로 유기EL을 Active Matrix구동으로 작동시키기 위해서는 이동도가 높은 저온 Poly Si-TFT가 적합하다. 단색 고분자 유기EL Panel의 제조공정은 다음과 같다. 우선 TFT를 삽입하여 만든 유리기판 위에 도전성 고분자의 PEDOT와 녹색 발광 Poly-dialkylflorene 유도체를 각각 Spin Coat 법으로 적층한다. 그 위에 Ca음극을 증착한다. 고분자의 경우에는 Inkjet 또는 전사법을 사용하는 Patterning이 시도되고 있다. 일반적으로 Spin Coat 법을 이용한 유기EL Panel을 작성하는 경우, 음극을 형성하기 전에 단자부상의 고분자박막을 Laser Ablation 등으로 분리시켜야 한다. 게다가 R, G, B의 고분자를 화소마다 다시 도포하여야 한다. 이것은 기존기술에서는 불가능했다. 몇몇 회사에서는 Printer기술에서 구축된 Inkjet기술을 이용하여 유기EL Panel의 Patterning을 계속했었다. Inkjet Patterning의 장점은

- ① 대면적화
- ② 고정세화
- ③ 유기EL 원료 절감
- ④ 제조공정이 간소하고 설비투자 및 설치 Space 최소화

등이 있다. 전사법의 경우는 아직도 설비가 완벽히 개발되고 있지 않은 등 아직은 여러 가지의 문제점을 안고 있어 그 해결에는 시간이 걸릴 전망이다.

5. 유기EL의 시장 전망

이상과 같이 소개한 유기EL의 시장전망은 아직 어떠한 전문기관도 일관성있는 자료를 제시하지 못하고 있다. 그만큼 유기EL이 Display로서 큰 가능성을 보유하고 있고 미래의 Display Device라는 반증이라 할 수 있다. 그러나 향후의 시장전망은 유기EL

의 기본적인 특성을 바탕으로 다음과 같이 전망할 수 있다. 우선, Mobile Display로서의 유기EL 시장을 예상할 수 있다. 현재의 Cellular Phone에 채용되는 Display는 STN-LCD가 일반적이다. 이는 문자표시에서는 큰 문제가 없는 데다 소비전력도 반사형으로서 아주 우수하기 때문이다. 그러나 향후 2~3년 뒤로 예상되는 IMT-2000 서비스의 본격적인 도입에 맞추어 Web화면 및 동영상 구현하는 Display의 요구가 급격히 높아질 것으로 예상된다. 이러한 요구에 맞출 수 있는 Display는 TFT-LCD와 유기EL이 될 것이라는데 대부분의 사람들이 공감하고 있다. 따라서 유기EL의 초기시장은 3" 이하의 IMT-2000용 Cellular시장이 될 것으로 보인다. 또한 현재 급속한 시장성장이 이루어지고 있는 PDA 시장(6"미만)에 적용되는 날도 멀지 않은 것으로 보인다.

또한 유기EL을 조명에 활용하고자 하는 시도도 활발히 진행되고 있는데 이것과 관련하여서는 효율적인 백색광을 만들어 내는 재료의 개발이 가장 중요한 이슈이다. 최근에는 PBD를 전자수송체로서 분산하여 4종류의 색소를 적당량 분산함으로써 백색발광을 얻을 수 있다는 보고가 있다. 이 경우에 단층형임에도 불구하고 4000[cd/m²]의 고휘도를 얻을 수 있다고 보고되고 있다. 일반적으로 간접조명등에 사용되는 조명의 경우는 기본적으로 20[lm/W]이상이 기준이므로 그 가능성은 충분하다고 할 수 있다. 조

명분야에서는 3과장 type의 백색이 아니더라도 색도, 연색성만을 만족시킨다면 사용할 수 있는 용도도 많고 오히려 그 고효율화가 point가 된다.

그림 3은 일본 노무라(野村)종합연구소에서 예측한 세계의 향후 유기 EL display의 시장규모이다. 여기서는 6inch 이상과 6 inch 미만의 size별, 저분자 유기EL과 고분자 유기EL의 type별로 분류하고 있다. 1999년에 제품화된 유기EL display는 저분자형 passive type으로, 시장규모는 약 3억엔으로 추정하고 있다. 유기EL display전체로서의 시장규모는 2000년에 12억엔, 2005년에 826억엔, 2010년에는 6674억엔의 거대시장으로 성장할 가능성이 있다고 노무라는 예상하고 있다. 이러한 시장 전망들은 기본적으로 유기EL의 숙제인 적절한 재료의 개발, 구동법의 개발 그리고 양산기술 및 설비의 뒷받침을 전제로 하고 있다. 따라서 이제 상품화 초기단계에 있는 유기EL이 모든 난관을 뚫고 차세대 Display의 선두주자로 부상할 수 있는가는 지금부터의 연구개발에 달려 있다고 볼 수 있다. 앞으로 각 Display업체들의 치열한 연구개발 경쟁이 자못 흥미진진하다.

◇ 著 者 紹 介 ◇



김 성 원(金成原)

1988년 연세대학교 기계공학과 졸업, 삼성전관 종합연구소 입사, 1992년 HD 브라운관 개발, 1994년 Metal Halide Lamp 개발, 1997년 삼성SDI Marketing 팀, 1999년 기술기획팀.

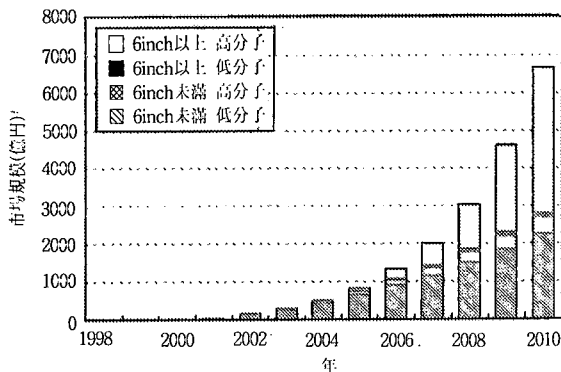


그림 3. 세계의 유기EL 시장규모 예측