

# 박막 전계발광디스플레이 기술의 개요와 발전 전망

## Thin Film Electroluminescent Display Technology and Its Applications

□ 윤 선 진 / 한국전자통신연구원 연구 소장님

### 1. 서론

평판 디스플레이(flat panel display, FPD) 기술은 디스플레이 패널의 두께가 화면 대각선 길이의 1/4 이하인 디스플레이를 통칭하는 말로서 우리에게 가장 익숙한 디스플레이인 cathode ray tube(CRT)와 비교하여 경량 박형이라는 점이 가장 큰 장점이라고 할 수 있다. FPD는 휴대성, 이동성이 뛰어나므로 앞으로 정보통신 기술이 발전하면 할수록 더욱 그 중요성이 커질 것이며, 또한 가정용 TV와 모니터 등도 점차 슬림화에 대한 요구가 커지고 있어서 그 중요성과 개발 필요성은 아무리 강조해도 지나치지 않을 것이다.

FPD에는 동작원리를 달리하는 여러 종류의 디스플레이가 있고, 각 디스플레이마다 장점과 단점이 서로 달라서 적합한 응용 분야에서도 차이가 있다. 그 중에서 여러 층의 막으로만 구성되는 전계발광 디스플레이(electroluminescent display, ELD)는 어떤 물질에 전

계를 가하면 그 에너지에 의해 활성화되었다가 기저 상태로 돌아오면서 물질에 따른 고유한 파장의 빛을 내는 전계발광(electroluminescence, EL) 현상을 이용한다.

EL 현상을 이용하는 디스플레이는 형광체 양단에 고전계(high electric field)를 가했을 때 주입된 전자의 가속 충돌에 의해 빛을 내는 고전계 ELD와 pn-접합에서의 전자-정공 재결합에 의해 빛이 발생하는 light emitting diode(LED)로 크게 나눌 수 있다. 유기 ELD로도 알려져 있는 유기 LED, 고분자 LED는 후자에 속하며, 본 원고에서 다루고자 하는 고전계형 박막 ELD는 전자의 경우에 해당한다.

고전계 ELD는 구동 방법에 따라 ac-구동형과 dc-구동형으로 나눌 수 있다. 1936년 프랑스 과학자 Destriau가 ZnS에 전계를 가했을 때 빛이 나는 현상을 처음 발견한 이후 투명전극 재료가 개발되고 박막 제조 기술이 발전됨에 따라 ac-, dc-분말형 ELD를 거쳐 ac-, dc-박막형으로 발전하여 왔다(1). ELD의 발전사를 표

표 1. 단색 및 천연색 ELD의 발전 역사[1]

년도	단색 ELD	년도	Color ELD
1936	고전계 EL 현상 발견 (Destriau)[2]	1981	ZnS 모재료에 희토류 원소를 도핑하여 color TFELD를 제작
1950	투명 전도박막, S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 개발 --> ac-분말형 ELD 개발	1984	청색 SrS:Ce TFELD 보고(Barrow et al.)[7]
1950-1960	ac-분말형 ELD에 대한 연구 진행 (저휘도와 짧은 수명이 문제)	1986	Prototype 다색 TFELD 제작 보고(Barrow et al.)[8]
1960	ZnS:Mn TFELD 구조 제안 (Vlasenko, Popkov)[3]	1988	Prototype 천연색 TFELD 제작 보고(Barrow et al.)[9]
1967	Russ, Kennedy에 의해 이중 절연형 ac-TFELD 구조의 제안[4]	1991	ZnS:Mn 형광체를 기본으로 하고 칼라필터를 채용한 반전구조의 다색 TFELD(Okabayashi et al.)[10]
1974	고휘도, 장수명 이중 절연형 ac-TFELD 개발 (Inoguchi et al.)[5]	1993	EGA format, 적색/녹색/황동색의 다색 TFELD가 최초 로 상용화(Cramer et al.)[11]
1981	실용적인 ac-TFELD unit 제작 보고 (Uede et al.)[6]	1993	CaGa <sub>2</sub> S <sub>4</sub> :Ce 청색 형광체와 이를 이용한 prototype 천 연색 TFELD의 제조(Barrow et al.)[12]
1983	황동색 ac-TFELD 제품의 본격적인 생산이 시작됨	1994	최초로 천연색 TFELD 모니터 상용 제품 발표 (Planar systems)
1991	고유전율 후막 절연층을 도입한 하이브리드형 TDEL의 제안(Wu et al.)	1994-2001	고휘도 청색, 녹색 형광체 개발에 대한 연구가 계속 진행
1983-2001	차량탐재용, 의료기용, 계측기 용 등의 특수시장에서 고유한 시장 확보	2001	2001 SID Symposium에서 삼원색 형광체를 기본으로 한 고휘도 TDEL 시제품 전시 (Fire Technol.)[13]

1에 간략히 정리하였다.

여러 종류의 ELD중 dc-ELD들은 수명과 안정성 면에서 미흡하여 상용화에 성공하지는 못하였으며, 아직 부분적으로 연구가 수행되고 있는 수준이다. Ac-분말형 ELD는 아직 휘도와 수명이 만족할 만한 수준은 아니나 그 특성에 적합한 응용 분야에서 이미 상용화되어 휴대전화기용 LCD 패널, 시계 등의 backlight, 광고, 표지판, 장식 등의 용도로 사용되고 있다.

반면 ac-박막 ELD는 1983년 일본 Sharp사에 의해 컴퓨터 모니터용 6인치 320x240 단색 ELD 패널로 처음 상품화된 후 곧 이어서 미국의 Planar Systems, 핀란드의 Finlux(1991년 이후 Planar International)에 의해서 상용화되었는데, 현재 생산되고 있는 디스플레이 중 가장 수명이 길고, 내구성이 우수한 기술임이 입증되어왔다. 1990년대 중반에는 640x400, 640x480 픽셀(VGA)의 9인치 단색 ELD가 컴퓨터 모니터로 출시되었으며, 고신뢰성에 힘입어 군용, 의료기용, 계측기용, 공정장비용, 항공기/우주선, 트럭, 고

속전철용 등의 특수 목적에 주로 이용되고 있다. 그림 1에 ac-박막 ELD 제품들의 예로서 Planar Systems사의 (a)10.3인치 car navigation system용 VGA급 ELD와 (b)군용 night vision system용 ELD를 소개하였다.

Ac-박막 ELD는 모든 층이 박막으로만 구성된 고전적인 의미의 박막 ELD(보다 넓은 의미의 박막 ELD와 구별하기 위해 이후 TFELD로 명명함)와 하부 절연층만을 고유전율 후막층으로 제작하는 하이브리드형 thick dielectric ELD(TDEL)가 있다. TFELD는 주로 20인치 이하의 중소형과 1인치 이하의 초소형 고신뢰성 디스플레이로 사용되며, TDEL은 미세패턴 형성이 어려운 대신 고휘도를 얻을 수 있는 장점 때문에 25-40인치 급의 대구경 TV용 등으로 개발되고 있다. 본 원고에서는 ac-구동형 박막 ELD의 두 종류인 TFELD와 TDEL의 구조, 동작원리, 기술의 장단점 및 가능성 있는 응용분야에 대해 소개하고자 한다.

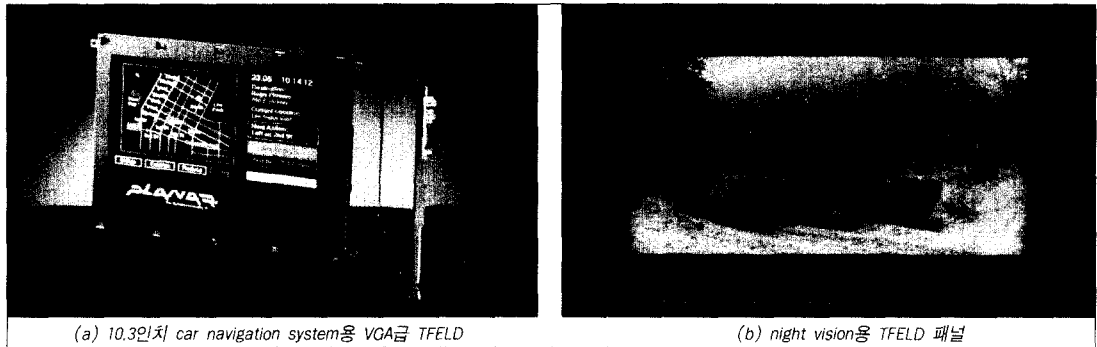


그림 1. 미국 Planar Systems 사의 ac-TFELD 제품

## II. TFELD와 TDEL의 구조

Ac-구동형 박막 ELD는 기본적으로 기판 위에 하부 전극층, 하부절연층, 형광층, 상부절연층, 상부전극의 순서로 적층된 구조를 가진다. 그림 2에 TFELD와 TDEL의 구조를 비교하여 제시하였다.

그림 2(a)에서 보는 바와 같이 TFELD 소자는 통상적으로 유리 기판 위에 투명한 하부 전극(두께 0.1-0.2 $\mu$ m)/제1절연층(0.2-0.3 $\mu$ m)/형광층(0.3-1.0 $\mu$ m)/제2절연층(0.2-0.3 $\mu$ m)/상부 금속전극(두께 0.1-0.2 $\mu$ m)의 샌드위치 구조를 형성하는 다층 박막 구조를 가지고 있다. 상부, 하부 절연층으로는 보통 유전상수 5-25 정도를 가지는 유전재료를 사용하는데, 대표적인 재료로는  $Al_2O_3$ ,  $Y_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $SiON$ ,  $Al_2O_3/TiO_2$ ,  $BaTa_2O_7$  등을 들 수 있다.

이 구조에서 두 전극사이에 고전계를 가해주면 두 전극이 교차하는 영역에서 pixel이 형성되어 빛이 발생하며, 형광층에서 발생한 빛은 금속 전극에 의해 반사되어 유리 기판 방향으로 나가게 된다. 이 때 가장 흔히 사용되는 Al 전극은 반사율이 90~92%로 매우 커서 투명도가 감소하는 경향이 있으므로 상용 제품의 경우에는 반사방지층 등을 삽입한다. 응용 목적에 따라 금속전극을 투명전극으로 대체하여 투명 디스플레이

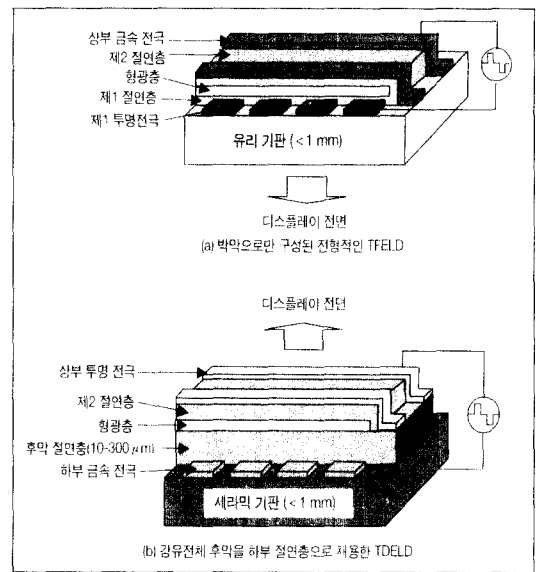


그림 2. ac-구동형 박막 ELD의 구조

이를 제조하거나 또는 내화 금속을 하부전극으로 사용하는 반전 구조로 제조할 수도 있다.

한편 TDEL은 그림 2(b)에서 보는 바와 같이 구조가 TFELD의 반전 구조와 매우 유사하나 하부 절연층과 기판에서 뚜렷한 차이를 가진다. 하부 절연층은 유전상수가 500 이상인 납니오븀산화물( $PbNb_2O_7$ )과 같은 강유전체를 사용하며, 두께가 10-300 $\mu$ m에 이른다. 그리고 이 유전체들이 유전 상수 500 이상을 가지기 위

해서는 850°C 이상의 고온 열처리가 필요하므로 유리 기판 대신 고온에 잘 견디는 세라믹 기판을 사용하여야 한다. 하부 전극의 경우에도 하부 절연층의 고온 열처리 공정을 함께 겪어야 하므로 고온 공정에서 안정한 내화 금속, 합금재료가 쓰인다. TDEL은 그림에서 보는 바와 같이 수백 μm 정도의 후막을 사용하므로 미세 패턴의 형성에 한계가 있어서 고해상도 보다는 대구경 디스플레이를 주 응용 분야로 보고 있다.

천연색 또는 다색 TFELD의 구조로는 상기 단색 TFELD의 구조를 평면적으로 배열하거나 적층하는 구조가 가능하다[1]. 가장 간단한 구조는 백색 형광체를 사용하고 적, 녹, 청색 필터를 사용하여 천연색 픽셀을 형성하는 방법이다. 이 방법은 적, 녹, 청색을 적절한 비율로 포함하고있는 고휘도 백색 형광체가 개발되어야 한다는 부담이 있으나, 제조 방법이 매우 간단하다는 장점이 있다. 두번째로 삼원색 ELD들을 겹쳐서 쌓아나가는 적층 구조의 경우는 각 ELD들 사이에 삽입되는 전극이 모두 투명 전극이어야 하는데, 투명전극 재료들이 이러한 구조에서는 안정성이 매우 저하되는 문제가 있다. 세번째로 삼원색 형광체를 각각 패터닝하여 평면적으로 배치시키는 방법이 있는데, 형광체들의 패터닝공정이 필요하고, 각 색의 발광면적이 상대적으로 작은 단점이 있지만 첫 번째 방법에 비하여 색도조절이 보다 용이하고, 고휘도의 선명한 천연색 ELD를 얻을 수 있다. 휘도가 상대적으로 낮은 적색 또는 청색 ELD를 한 기판에, 다른 두색을 다른 기판에 제작하여 두 기판을 접합하는 구조도 시도되고 있다. 현재 상용화에는 첫 번째와 세 번째 방법이 사용되고 있다.

TDEL의 경우 후막절연층을 사용하므로 삼원색 ELD를 적층하는 구조는 불가능하다. 그래서 백색 형광체 또는 다색 형광체를 이용하고 필터를 통해 원하는 색을 얻는 방법과 삼원색 형광체를 각각 패터닝하여 평면적으로 배열하는 방법으로 천연색 또는 다색 TDEL을 구현한다. TDEL을 개발하고 있는 iFire

Technology사는 백색 또는 다색 형광체를 사용하는 구조에서 삼원색 형광체를 각각 사용하는 구조로 발전해오면서 보다 색도와 휘도가 개선된 천연색 ELD 시제품을 선보이고 있다[13].

상기 TFELD와 TDEL의 구조에서 볼 수 있듯이 ac-구동형 박막 ELD들은 완전고체소자로서 여러 막들을 겹쳐쌓은 구조로만 이루어져 있으므로 구조가 매우 간단하고, 제조공정이 단순하며, 패키징이 쉬울 뿐만 아니라 내충격성, 내진동성, 내열성 등이 매우 뛰어나다.

### III. TFELD와 TDEL의 동작 원리

TFELD와 TDEL의 동작 원리는 기본적으로 동일하며, TDEL은 유전상수가 매우 큰 절연체료를 사용하나 두께가 두꺼우므로 실제로 절연층과 형광층에 걸리는 전계의 세기도 TFELD의 경우와 거의 유사하다. 절연체의 유전상수가 클수록 보다 많은 전자가 주입될 수 있으나 유전상수가 큰 절연체들이 전기적 파괴강도 (electrical breakdown strength)가 약하므로 고전계를 유지하기에는 상대적으로 불리하다. TDEL의 경우 강

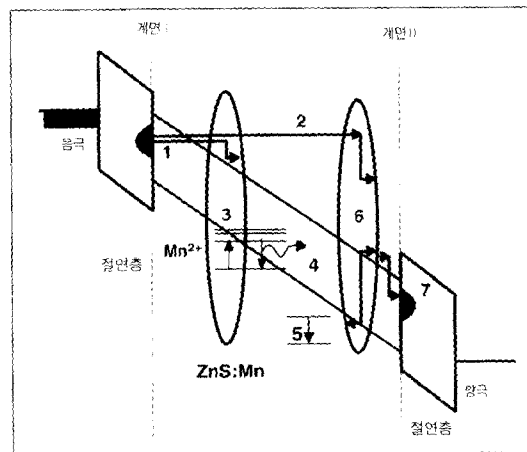


그림 3. ZnS:Mn 박막 ELD의 발광과정 개념도

유전체를 사용하고도 동일한 크기의 전계를 형광층에 안정적으로 유지해 줄 수 있는 이유는 절연층을 매우 두껍게 후막 형태로 형성하기 때문이다.

그림 3에 가장 대표적인 ZnS:Mn ELD를 예로 들어 발광과정을 도식화하여 소개하였다. EL 발광이 일어나는 과정을 그림에 표시되어 있는 각 단계에 따라 순서대로 설명하면 아래와 같다(1).

- (1) ZnS:Mn ELD소자의 상하부 전극 양단에 그림 3과 같이 전계를 가해주면 형광층과 절연층의 계면에서 전자가 형광체로 관통해 들어가며,
- (2) 주입된 전자들은 고전계에 의해 가속되어 발광입자(Mn<sup>2+</sup>)를 충돌 여기시키기에 충분한 정도의 운동에너지를 얻게 된다.
- (3) 형광체 내에 포함되어 있는 발광중심 이온(Mn<sup>2+</sup>) 이 전자와 충돌하여 여기 상태로 활성화되고,
- (4) 다시 기저상태로 안정화되면서 여분의 에너지를 빛의 형태로 방출한다.
- (5) 경우에 따라 여기된 발광입자는 비발광 전이를 하기도 하며,
- (6) 전자들이 모재료 격자와 충돌하여 전자를 더 생성시키기도 한다.
- (7) 반대쪽의 형광층-절연층 계면II에 도달한 전자들은 그 계면에 트랩된다.

극성이 반대 방향으로 전환되면 트랩되었던 전자들이 다시 계면II에서 계면I을 향해 주입, 가속되면서 (1)-(7)의 과정을 거친다. Ac-모드로 구동되므로 이 과정들이 계속 되풀이하면서 발광 상태를 유지하게 된다.

#### IV. EL 형광체와 절연층의 요구 특성과 제조 방법

ELD는 일정한 조건이 갖추어지면 형광체가 스스로 빛

표 2. 모재료와 발광중심 이온에 따른 EL의 색깔과 휘도

모재료	발광중심이온과 첨가 이온	색	휘도(cd/m <sup>2</sup> @ 60Hz)
ZnS	Sb, F	적황색	8
	Sb, Cl	적색	12
	Mn	황록색	300
	Mn/적색 필터	적색	75
	Tb, Cl, F	녹색	125
	Tm, F	청색	<1
CaS	Pr	백색	
	Eu	적색	12
	Ce	녹색	10
SrS	Pb	황색	80
	Ce	황록색	65
SrCaS	Ce, Eu	백색	32
	Cu, Ag	청색	>25
SrCaS	Ce	청색	10
CaCaS	Ce	청색	13
BaAlS	Eu	청색	60

을 내는 자발광형 디스플레이이다. EL 형광체는 모재료와 그 속에 포함된 소량(수% 이내)의 발광중심 이온으로 구성되어 있다. 형광체의 모재료는 형광체 내로 전자가 주입되고 또한 충분히 가속되기에 용이한 좋은 계면과 결정성을 가지고 있어야 하며, 가시광선 영역의 빛이 발광할 때 이를 흡수하지 않도록 3.0-4.5eV 정도의 밴드갭을 가지고 있어야 한다. 모재료로는 주로 황화물이 사용되며, 산화물도 좋은 대체 재료로서 연구 개발되고 있다.

모재료 내에 포함된 발광 중심이온은 전자와 충돌하여 여기된 후 원하는 파장과 충분한 휘도의 빛을 내기에 적합한 특성을 가지고 있는 원소들이어야 한다. 즉 비교적 안정된 여기 상태를 가질 수 있어야 하며, 모재료 내의 양이온과 비슷한 이온 반경을 가질수록 좋은 결정성을 유지하기가 쉬우며, 산화수도 모재료의 그것과 동일한 것이 유리하다. 그리고 사용 온도에 따라 휘도가 변하지 않아야 한다. 발광중심이온은 주로 전이금속, 희토류 금속 들이며, 모재료와 산화수가 맞지 않을 경우 이를 보상해주기 위해 또 전자의 충돌효율을 높이기 위해 산소(O), 염소(Cl), 불소(F)등의 원소를 더해주거나, 색을 보정해주기 위해 다른 원소를 첨가하기도 한다.

표 2에는 황화물계 모재료와 발광중심 이온의 종류에 따라 발생하는 ELD의 색과 휘도를 소개하였다. 표에서 보는 바와 같이 발광중심이온에 따라 색이 서로 다르며, 동일한 발광중심이온도 모재료가 다르면 색이 다른 ELD를 발생하는 경우도 있다. 표 2에서 보는 바와 같이 순수한 적색 형광체는 휘도가 매우 낮아서 상용제품에는 ZnS:Mn 황등색 형광체에 적색 필터를 채용하여 적색을 얻고 있다. 녹색 형광체로는 ZnS:Tb를 가장 많이 사용하나, ZnS:Mn에 Mg를 더하여 녹색을 보다 많이 포함하도록 하여(Green shift) ZnMgS:Mn으로부터 적색과 녹색을 모두 얻기도 한다.

CaS:Pb, BaAl<sub>2</sub>S<sub>3</sub>:Eu 등의 고휘도 청색 형광체들은 최근에 개발된 것들로서 천연색 ELD 상용제품에는 아직 사용되지 않고있다. 표에는 소개하지 않았으나 청록색을 내는 SrS:Ce과 황등색을 내는 ZnS:Mn 또는 적색을 내는 CaS:Eu를 다층구조로 제작하여 백색 형광체로 이용할 수 있다.

ELD 구조는 그림 3에서 보는 바와 같이 절연체가 형광층을 샌드위치 모양으로 감싸고 있는데, 절연층은 형광체에 빛을 내기에 충분한 세기의 전계가 걸리도록 고전계를 유지해주며, 수분, 오염, 이온의 확산 등으로부터 형광체를 보호하는 역할을 한다. ELD용 절연층은 pinhole과 같은 결함이 매우 적어야 하며, 형광체와 계면을 이루었을 때 충분한 량의 전자가 전계에 의해 형광체 내에 주입될 수 있어야 하므로 유전상수가 클수록 유리하고, 형광층과의 계면 상태가 매우 중요하다.

TFELD에서 형광층과 절연층은 스퍼터링 증착법, 전자빔 또는 열증발법과 같은 물리적 증착법과 화학증착법, 원자층 증착법 등의 화학적 박막 증착법으로 제조할 수 있다[1,14-17]. 형광체의 종류에 따라 또는 증착방법에 따라 결정성을 개선하기 위하여 증착 후 500-900°C 정도의 열처리가 필요한 경우도 있다. 원자층 증착법은 기판의 거칠고도와 패턴 존재 유무에 무관하게 표면의 굴

곡을 따라 매우 균일한 막을 형성할 수 있어서 구동회로와 트랜지스터를 기판 위에 미리 제작한 후 그 위에 ELD를 형성해야하는 초고해상도 active-matrix ELD(AMFELD) 제조 공정에 매우 유용하다[14,15,18].

TDEL은 후막절연층 코팅과 고온열처리 공정을 제외하고는 TFELD의 경우와 대동소이하다. 하부 전극과 후막절연층은 스크린 프린팅법과 같은 후막 형성방법을 사용하며, 후막 표면의 거칠고도를 완화시켜주기 위해 졸겔 방법이나 유기금속화합물 분해법 등을 사용하여 후막 위에 절연체로 평탄층을 형성하기도 한다. 평탄층 위의 형광층, 상부 절연층, 상부 투명전극층 들은 TFELD와 같은 박막 증착법으로 제조한다[13].

TFELD는 두께가 균일하고 표면거칠고도가 매우 적으며 굴절율이 비교적 큰 박막들로 구성되므로 전형적인 TFELD 구조에서는 80% 이상의 빛이 정면으로 나가지 못하고 측면으로 새어나가거나 갇히는 현상이 일어난다. 그래서 기판에 미세구조를 형성하여 전반사를 줄이는 시도를 하기도 한다. 반면 TDEL의 경우는 후막 절연층의 표면거칠고도가 매우 크므로 전반사 효과가 크게 감소하여 고휘도를 얻기에 보다 유리하다. TDEL의 제조과정에서 스크린 프린팅 법으로 하부 전극과 후막 절연층을 형성하는 공정은 공정단가가 박막공정에 비해서 저렴하고 대구경 디스플레이 제조에 유리한 장점을 가지고 있다. 또한 TDEL은 알루미늄과 같은 세라믹 기판을 사용하므로 900°C에 가까운 고온에서 형광체를 열처리하는 것도 가능하다.

## V. 박막 ELD의 주요 응용분야 및 연구 개발 동향

박막 ELD는 두께가 매우 얇고, 무게가 가벼우며, 휘도와 선명도가 우수한 동시에 응답속도가 매우 빨라서 동영상 구현에 적합하고, 시야각이 넓으며, 전압 또는

주파수를 조절함으로써 쉽게 그레이 스케일을 구현할 수 있다. 또한 수명이 길며, 완전히 고체소자로 구성되어 있으므로 내진동성, 내충격성이 크고, 사용 가능한 온도가 -40°C에서 +85°C 범위에 달하는 고신뢰성, 내환경성 디스플레이 기술이다.

반면 ac-구동형 박막 ELD의 단점으로는 150-250V 정도의 고전압구동이 필요하므로 구동IC 가격이 제품가의 1/2을 차지하여 가격이 상대적으로 비싸며, 고휘도 천연색의 상용화가 아직 이루어지지 못하고 있다는 점을 들 수 있다.

최근까지 ELD의 매우 우수한 장점들에도 불구하고 천연색 박막 ELD의 상용화의 가장 큰 기술적 장애는 청색 형광체 특성이 상용화 수준에 미치지 못하였다는 것이었다. 청색 ELD는 color ELD에 대한 관심이 커지기 시작하던 1980년 이후로 계속 주목할 만한 성능 개선이 없어 일반 소비자를 위한 천연색 모니터, TV 등에는 박막 ELD가 사용되지 못하고 있었다.

그러던 중 1990년대 중반까지 청색 형광체 기술은 휘도  $15\text{cd}/\text{m}^2$  (@60Hz) 이하의 수준이었으나 1997년 미국 Planar Systems사에서 RF-마그네트론 스퍼터 증착법으로 제조한  $\text{SiS}:\text{Cu,Ag}$  청색 형광체(휘도  $25\text{cd}/\text{m}^2$  @60Hz, CIE color coordinate(0.17,0.13))를 보고한 것을 시작으로 하여 1999년 한국 ETRI에서 원자층 증착법을 사용하여 고휘도  $\text{CaS}:\text{Pb}$  청색 형광체 ( $80\text{cd}/\text{m}^2$  @60Hz, (0.15,0.07))를 개발하였고, 이어서 일본 메이지 대학에서 전자빔증착법을 사용하여 제작한  $\text{BaAl}_2\text{Si}_2:\text{Eu}$  청색 형광체 ( $60\text{cd}/\text{m}^2$  @50Hz, (0.12,0.10))를 보고하였다[15-17]. 이러한 고휘도 청색 형광체들이 사용온도에 따른 성능의 안정성, 장수명, 고효율 생산의 효율성과 경제성 등 천연색 ELD의 상용화에 필수적인 제반 특성을 모두 갖추고 있는지에 대한 판단은 아직 이르나 고휘도 청색 형광체들의 성능 개선을 위한 노력이 계속되고 있으며, 천연색 ELD 개발에



그림 4. 미국 Planar Systems 사에서 개발한 0.7인치 VGA급 천연색 능동구동형 AM-TFELD

대한 큰 관심과 기대를 다시 불러일으키는 중요한 계기가 되었다.

앞으로 유망한 박막 ELD 시장은 각 기술의 장단점을 고려할 때 크게 세 분야를 생각해 볼 수 있다. 첫째는 ELD의 내구성과 우수한 시인성, 내환경성이 유용하게 사용되며, 고전압 공급이 용이한 중소형 차량탑재용 디스플레이, 둘째 하이브리드형 TDELDT가 겨냥하고 있는 25인치 -40인치 정도의 중대형 디스플레이, 그리고 세 번째로 TFELD가 미세패턴 형성에 매우 유리하고, 내환경성이 뛰어나므로 head-mount display(HMD)등에 사용될 초고해상도 초소형 디스플레이 분야이다.

차량탑재형 디스플레이의 경우 트럭, 고속전철 등의 특수분야 뿐만 아니라 일본 Denso Corp.에서 투명 ELD 디스플레이 및 다색 디스플레이의 형태로 지난 1999년부터 일반 승용차의 계기판에 장착하고 있다[19]. 하이브리드형 TDELDT는 캐나다 iFire Technology에서 현재 천연색 대구경 디스플레이를 개발 중이며, 수년째 계속 개선된 특성의 시제품을 보고하고 있다. 이 기술은 벽걸이 TV, HDTV, 중대형 모니터 등의 거대 시장을 목표로 한다는 점에서 많은 주목을 받고 있다. iFire Technology는 현재 벽걸이 TV시장에 본격적으로 출시

되고 있는 plasma display panel(PDP)보다 훨씬 간단한 제조 공정과 높은 수율 때문에 TDEL의 제조 단가가 PDP보다 40% 이상 저렴할 것으로 평가하고 있다.

일본 TDK에서는 iFire Technology의 기술을 도입하여 중소형 단색 TDEL의 대량 생산을 준비하고 있다.

미국 Planar Systems는 현재 TFELD의 시장 점유율이 가장 큰 회사로서 특히 HMD용 초고해상도 능동구동형(active-matrix) TFELD의 개발에 주력하고 있다(18). TFELD는 ELD소자의 총 두께가 수  $\mu\text{m}$ 에 불과하므로 시인성이 매우 우수하고 초미세 패턴의 형성이 용이하므로 HMD용으로 가장 적합한 디스플레이 기술이다. 그림 4에 Planar Systems에서 개발한 0.7인치 640x480 천연색 AM-TFELD를 소개하였다. Planar Systems가 2000년에 발표한 자료에 의하면 1인치 크기 이하의 QVGA급 천연색 AM-TFELD의 사양이 무게 3g 이하, 휘도 171cd/m<sup>2</sup>, 전력소모 0.5W(통상적인 동작 조건 하에서) 이하이며 청색도가 CIE color coordinate (0.13, 0.17)로서 크게 개선되었다.

박막 ELD는 다른 디스플레이에 비해 많은 우수한 장점을 가지고 있음에도 불구하고, 현재까지 고휘도 천연

색 ELD 패널의 상용화가 지연되면서 시장의 요구와 발전 추세에 기술의 개발속도가 미치지 못함으로서 일반 소비자를 위한 디스플레이 보다는 고신뢰성을 요구하는 특수 디스플레이의 틈새시장을 목표로 개발, 생산되어 온 것이 사실이다. 현재 박막 ELD는 전세계적으로 1.5억불 내외의 시장을 유지하며, 매년 15~20% 정도의 꾸준한 성장율을 보여왔다. 그러나 이제 유기LED, FED등의 새로운 디스플레이 개발이 가속화되고 있으므로 박막 ELD 시장의 확장은 점차 어려워질 것이라는 견해가 지배적이다. 하지만 박막 ELD가 지금까지 개발된 디스플레이중 내구성, 내환경성 등 신뢰성이 가장 뛰어난 기술이라는 점은 아무도 부인하지 못할 것이다.

최근 정보통신 기술이 크게 발전하면서 보다 고품위의 디스플레이를 요구하는 상황에서 박막 ELD의 고유한 장점이 빛을 발할 수 있는 응용 분야를 적극적으로 개척하고 고휘도 천연색 ELD를 조속히 상용화함으로써 박막 ELD가 지금까지의 제한된 시장에서 벗어나 기술 경쟁이 치열한 막대한 규모의 상용 평판 디스플레이 시장에서 성공할 수 있기를 기대한다.



● 참고문헌 ●

- [1] Y. A. Ono, in "Series on Information Display, Vol.1 Electroluminescent Displays", (World Scientific 1995).
- [2] G. Destriau, J. Chim. Physique 33, 587(1936).
- [3] N. A. Vlasenko and. I. A. Popkov, Optics & Spectroscopy 8, 39(1960).
- [4] M. J. Russ and D. I. Kennedy, J. Electrochem. Soc. 114, 1066(1967).
- [5] T. Inoguchi, M. Takeda, Y. Kakihara, Y. Nakata and M. Yoshida, Digest of 1974 SID International Symposium, p.84 (1974).
- [6] H. Uede, Y. Kanatani, H. Kishishita, A. Fujimori and K Okano, Digest of 1981 SID International Symposium, p.28 (1981).
- [7] W. A. Barrow, R. E. Coovert and C. N. King, Digest of 1984 SID International Symposium, p.249 (1991).
- [8] W. A. Barrow, R. T. Tuenge, and M. J. Ziuchkovski, Digest of 1986 SID Symposium, p.25 (1986).
- [9] W. A. Barrow, R. E. Coovert, C. N. King and M. J. Ziuchkovski, Digest of 1988 SID International Symposium, p.284 (1988).
- [10] K. Okibayashi, T. Ogura, K. Terada, T. Taniguchi, T. Yamashita, M. Yoshida and S. Nakajima, Digest of 1991 SID International Symposium, p.275 (1991).
- [11] D. Cramer, J. Haaranen, R. Tornqvist and T. Pitkanen, Application Digest of 1993 SID International Symposium, p.57 (1993).
- [12] W. A. Barrow, R. E. Coovert, E. Dickey, C. N. King, C. Laakso, S. S. Sun, R. T. Tuenge, R. C. Wentross and J. Kane, Digest of 1993 International Symposium, p.761 (1993).
- [13] J. Virginia, Information Display No.5&6, p.16 (2001).
- [14] S. J. Yun, K.-H. Lee, J. Skarp, H.-R. Kim, and K. S. Nam, J. Vac. Sci. Technol. A15, 2993(1997).
- [15] S. J. Yun, Y. S. Kim, and S. H. K. Park, Appl. Phys. Lett. 78, 721(2001).
- [16] S. S. Sun, E. Dickey, J. Kane and P. Yocom, Conf. Rec. of 1997 International Display Research Conference, p.301 (1997).
- [17] N. Miura, M. Kawanishi, H. Matsumoto, and R. Nakano, Jpn. J. Appl. Phys. 38, L1291(1999).
- [18] T. Nguyen, R. Koyama, T. Larsson, K. Ping, and R. T. Tuenge, J. SID, 9, 237(2001).
- [19] H. Inuzuka, T. Yamauchi, Y. Hattori, M. Katayama, and N. Itou, J. SID, 9, 197(2001).

필자소개



윤 선 진

- 1982년 2월 : 부산대학교 자연대 화학과 학사
- 1983년 8월 : 한국과학기술원 화학과 석사
- 1987년 2월 : 한국과학기술원 화학과 박사
- 1991년 11월~1993년 3월 : 미국 일리노이대 Visiting Research Associate
- 1987년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
- 주관심분야 : 전계발광 디스플레이, 원자층 증착기술, 형광체 소재, 기능성 박막 소재