

전계발광 디스플레이 (Electroluminescent Display : ELD)의 기술 및 전망

吳 明 煥

韓國科學技術研究員 情報電子研究部

林 聖 圭

檀國大學校 電子工學科

I. 서 론

현대의 정보표시용 디스플레이(information display)는 cathode ray tube(CRT)가 주종을 이루고 있다. 그러나 점차로 증대되고 있는 대형 디스플레이 및 고해상도 텔레비전에 대한 요구로 인하여 무게와 부피가 매우 커지는 CRT보다 훨씬 얇고 가벼운, 고휘도, 고효율, 고해상도, 고속응답특성, 장수명, 저구동전압, 저소비전력, 저가격 및 full-color 평판 디스플레이(flat panel display : FPD)의 개발이 절실히 요구되고 있다. 현재 개발 혹은 생산중인 FPD에는 액정 디스플레이(liquid crystal display : LCD), 전계발광 디스플레이(electroluminescent display : ELD), 전계방출 디스플레이(field emitter display : FED) 및 플라즈마 디스플레이(plasma display panel : PDP) 등이 있는데 이들 중 주종은 full-color active-matrix LCD(AMLCD)가 차지하고 있다. 비록 AMLCD가 지속적인 성능향상을 해오고 있으나 제조기술이 상당히 복잡하여 아직은 단가가 매우 높은 실정이다. 또한 AMLCD는 해상도, 응답특성, 및 시야각 등 해결하기 힘든 문제점이 있으며 20" 이상의 크기를 갖도록 만들기가 극복하기 힘든 난제로서 오히려 ELD의 구동전압이 개선되고 전색화가 실현되면 ELD가 고성능 평판 디스플레이로서 이용될 가능성이 더 크다.

고속응답 특성, 넓은 시야각, 저전력, 넓은 사용 온도 범위 및 내충격성을 갖는 ELD의 full-color 화를 위한 꾸준한 노력의 결과 가장 극복하기 어려웠던 적, 녹, 및 청색 발광의 휘도가 최근에 상용 ELD를 제작하기에 충분한 정도의 수준에 이르렀다. 이미 미국의 Planar사에서는 640×480 화소의 monochrome 및 multicolor ELD가 양산되어 시판되고 있으며 320×256 화소의 full-color ELD의 출현을 예고하고 있는 상태이다. 또한 1280×1024 화소 및 1000 lines per inch(lpi)의 고해상도를 갖는 head-mounted display(HMD)용 초소형 full color active matrix ELD (AMELD)도 개발중에 있다. 또한 일본의 Sharp

사에서는 1280×1024 화소의 13"급 고해상도 ELD를 곧 시판할 예정이다.

완전한 고체소자로서 160°이상의 시야각과 뛰어난 내충격성을 갖고 있는 ELD는 LCD, FED 및 PDP와 함께 차세대 디스플레이 시장의 중요한 부분을 차지할 것으로 기대된다. 1993년 ELD 시장의 규모는 약 1억 달러(\$100,000,000)였으며 1997년에는 약 7억 달러(\$700,000,000)로 예상되어 모든 평판디스플레이 중에서 가장 빠른 시장 성장율을 보이고 있다. 일본의 2000년 연구회가 발표한 2000년도의 ELD 시장규모는 70억 달러(\$7,000,000,000)로서 가장 높은 성장세를 유지할 것으로 나타났다(1994년 9월 8일자 전자신문). 현재 EGA 및 VGA급 모니터로 시판중인 Planar사의 multicolor ELD의 사양을 표 1에 나타내었다.

(표 1)

Model Name	EL640.350-DAI EGA format	EL640.480-AA1 VGA format
Matrix	640Columns 350Rows	640Columns 480Rows
Colors Displayed	8+1per pixel	8+1per pixel
Pixel Pitch(W×H)	0.28×0.33mm	0.33×0.33mm
Viewing Area(W×H)	179×122mm	211×158mm
Outline Dimension (W×H×D)	229×159×18mm	263×205×20mm
Viewing Angle	Greater than 140°	Greater than 140°
Areal Luminance	18cd/m ² *	23cd/m ² *
Contrast (under 100 lux)	10 : 1*	10 : 1*
Temperature Range (Operating)	0to +55℃	-25to +65℃
Power Consumption	12W**	10W**

*minimum

**typical

II. 박막 전계발광(thin-film electroluminescent:TFEL) 소자

1936년 Destriau는 ZnS 분말을 넣은 전극사이

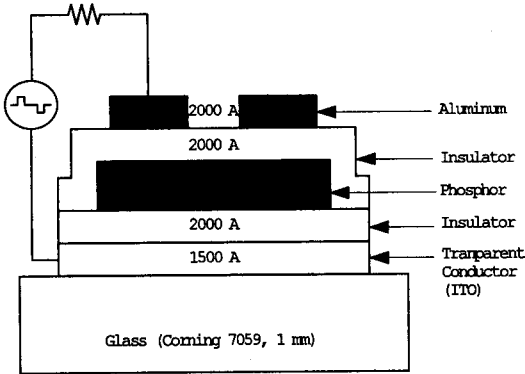
에 교류 고전압을 인가하였을 때 빛이 발생하는 전계발광(electroluminescence : EL) 현상을 발견하였다. 1950년 경에 투명전극 물질이 개발됨에 따라 조명을 위한 평판 분말 EL소자에 대한 연구가 시작되었으나 분말 EL소자는 휘도와 효율이 매우 낮고 수명이 길지 못하기 때문에 실용화되지 못하였다. 1968년 이후에 ZnS에 미량의 activator를 주입시켜 다양한 색상과 휘도를 증가시킨 직류 분말 EL소자와 교류 박막EL(thin-film EL : TFEL)소자가 발표되어 평판 디스플레이의 가능성을 예고하였다. 1974년 Inoguchi는 이중 부도체막 구조를 이용하여 휘도가 높고 수명이 긴 매우 안정된 ZnS : Mn 교류 TFEL소자를 개발하여 실질적인 ELD 평판 디스플레이 시대를 여는 계기를 만들었다.

1. TFEL소자의 구조

TFEL소자는 ELD를 구성하는 소자로서 금속-절연체-반도체-절연체-금속(metal-insulator-semiconductor-insulator-metal : MISIM)과 거의 같은 구조를 가지고 있다. ZnS박막에 미량의 Mn을 첨가하여 황등색(yellow-orange)빛을 발생시키는 ZnS : Mn TFEL소자의 구조를 그림 1에 나타내었다. 이 구조는 매우 간단하므로 박막기술을 이용하여 쉽게 제작할 수 있다. TFEL소자는 투명전극으로 사용될 박막 Indium-Tin-Oxide(ITO)가 입혀진 유리기판 위에 절연체, 발광원자가 주입된 형광체(phosphor), 절연체, 및 Al전극 순으로 구성되어 있다. ITO와 Al전극 사이에 100V 이상의 교류전압이 인가되어 임계전압을 넘게되면 형광체 내에서의 전계발광이 시작되어 유리기판 쪽으로 방출된다. 이러한 TFEL소자의 이중 절연체막은 형광체를 외부의 습기 또는 불순물로부터 보호해주며, 전극으로부터 형광체 내부로 전자가 직접 통과할 수 없도록 하여 형광체 내에 고전계가 형성될 수 있게 되므로, 고휘도, 고효율, 및 장수명의 TFEL소자를 만들기 위해 매우 중요한 역할을 한다.

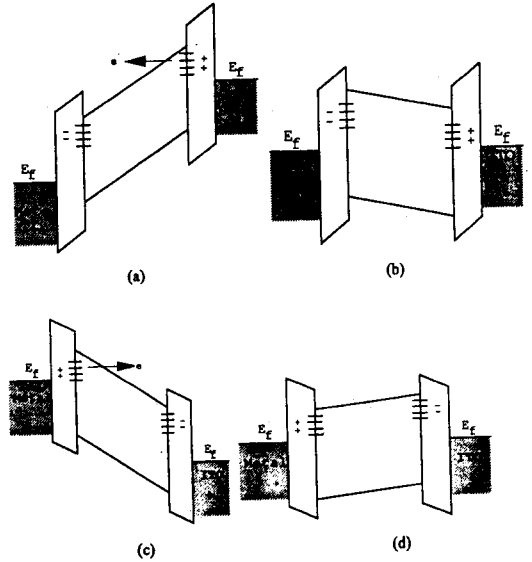
2. TFEL소자의 동작원리

ITO와 Al 전극 사이에 전압이 인가되어 임계전



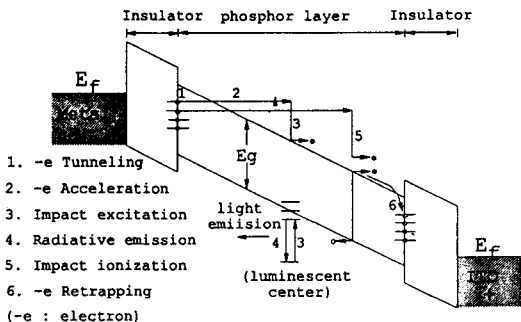
〈그림 1〉 ZnS : Mn TFEL소자의 구조

압을 넘게되면 절연체와 형광체의 한쪽 계면에 존재하는 전자들이 형광체 내부로 tunneling 되면서 매우 강한 형광체 내부의 전계로부터 큰 운동 에너지를 얻게된다. ZnS : Mn의 경우 이들 고에너지 전자(hot electron)들은 형광체(ZnS) 내부에 주입된 발광원자(Mn)와 충돌하여 발광원자의 전자들을 여기시키고 여기된 전자들이 다시 저준위로 떨어지면서 빛을 발생시킨다. 충돌 후에 전자들은 다른쪽 계면에 포획되며 반대극성의 신호가 인가되면 이미 계면에 포획된 전자들이 다시 형광체 내부로 tunneling 하면서 빛을 발생시킨다. 그림 2에 TFEL소자의 동작원리를 에너지 띠(energy band diagram)를 이용하여 나타내었다. 그림 3에서와 같이 TFEL소자에 교류전압을 인가하면 한쪽



〈그림 3〉 교류전압 인가에 따른 TFEL소자의 Energy Band Diagram

계면에서 출발하여 다른쪽 계면에 포획된 전자들은 형광체 내부에 분극을 일으켜 형광체 내부의 전계를 증가시키는 효과를 나타낸다. 교류전압이 인가되므로 이러한 현상은 반복되어 나타나며 인가된 교류전압의 크기와 주파수가 증가할수록 높은 휘도의 빛을 발생한다. Tunneling 현상은 온도와 무관한 과정이므로 TFEL소자의 동작온도범위는 대단히 넓다.



〈그림 2〉 Energy Band Diagram을 이용한 TFEL소자의 동작원리

3. 박막 전계발광(thin-film electroluminescent : TFEL)소자의 제작기술

TFEL소자의 성능향상에 가장 중요한 것은 형광층의 결정성이다. 형광층을 성장시키기 위한 박막 성장기술에는 물리적 증착(physical vapor deposition : PVD) 방법 및 화학적 증착(chemical vapor deposition : CVD) 방법이 있다. PVD 방법에는 전자빔증착법(electron-beam deposition : EBD), multi-source deposition(MSD), 및 sputtering이 있으며 CVD 방법에는 metal-organic chemical vapor deposition(MOCVD), atomic layer epita-

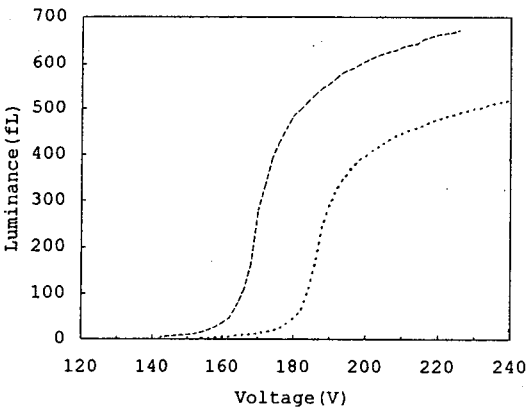
xy(ALE), 및 hydride-transport chemical vapor deposition(HTCVD) 등이 있다. 이들 중에서 EBD와 ALE 방법이 양산용으로 사용되고 있다.

ALE방법을 이용하면 한 원자면단위 두께의 박막을 조절하여 성장시킬 수 있으며 완벽한 step coverage가 가능하며 pinhole이 거의 없는 박막을 만들 수 있다. 현재 head-mounted display(HMD)에 응용이 예상되는 active matrix EL(AMEL)의 형광체 및 절연막 성장에는 ALE방법이 거의 필수적이다.

4. TFEL소자의 광학적 특성 및 전기적 특성

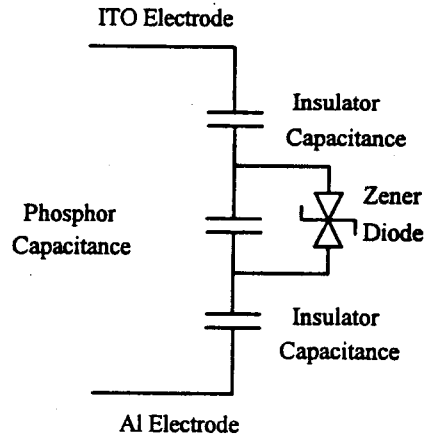
TFEL소자의 휘도-인가전압(luminance-voltage : L-V) 특성은 TFEL소자를 이용한 ELD의 구동회로를 구성하는 데 매우 중요하다. TFEL소자의 L-V 특성을 그림 4에 나타내었다.

그림 4에서 보면 임계전압 V_{TH} 이하에서는 휘도가 매우 작으며 V_{TH} 이상에서는 매우 급격하게 휘도가 증가하며 마지막에는 포화영역에 이르게 된다. 이와 같은 비선형 L-V 특성을 이용하여 높은 contrast를 유지하며 matrix addressing이 가능한 ELD 구동회로를 구성할 수 있다. TFEL소자의 휘도는 인가전압의 크기, 인가전압의 주파수, 또는 인가전압 pulse의 pulse width 등에 의하여 변화하므로 이러한 특성을 이용하여 ELD의 휘도를 변화(modulation)시킬 수 있다.

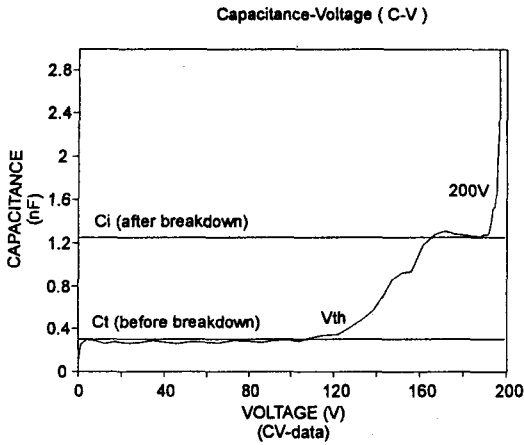


<그림 4> TFEL소자의 L-V 특성

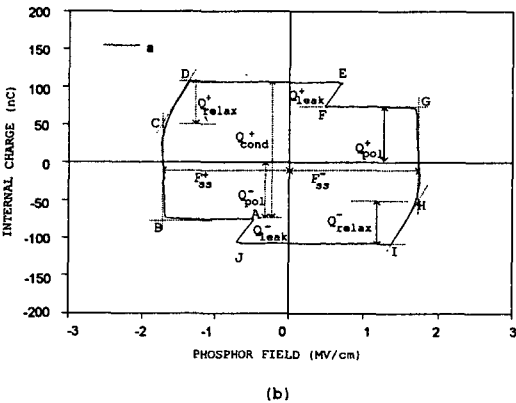
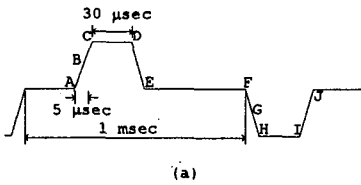
다음으로 TFEL소자의 전기적 특성을 측정할 필요가 있다. TFEL소자의 전기적 특성인 charge-voltage(Q-V), capacitance-voltage(C-V) 및 internal charge-phosphor field(Q-F_p)를 측정하므로써 TFEL소자의 내부에서 일어나는 물리적 현상을 이해할 수 있다. 이상적인 TFEL소자의 SPICE 등가회로를 그림 5에 나타내었다. 이 등가회로로부터 임계전압 이하에서의 TFEL소자의 capacitance는 절연층 capacitance C_i , 및 형광층 capacitance인 C_p 의 합으로 나타나며 형광층의 breakdown 후에는 절연층의 capacitance 만으로 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 실험적으로 구한 C-V 특성으로부터 TFEL 소자의 임계전압 (V_{TH}), 절연체 및 형광체의 capacitance 값을 구할 수 있다. 여기서 구한 capacitance 값은 형광체 내부의 특성을 정확하게 나타내는 Q-F_p 특성을 구하는데 필요하다. 이들 전기적 특성으로부터 많은 정보를 얻을 수 있으며 특히 TFEL소자내의 전압에 따른 conduction charge 양의 변화를 분명히 찾아낼 수 있다. C-V 특성곡선은 교류전계발광소자의 aging 특성 측정 및 수명시간(life time) 측정 등에 매우 중요하게 이용된다. 또한 이들 결과를 이용하여 TFEL소자의 특성을 향상시킬 수 있는 방안을 찾아낼 수 있다. 그림 6은 실험적으로 측정 한 TFEL소자의 C-V 특성을 보여주고 있다.



<그림 5> 이상적인 TFEL소자의 등가회로



〈그림 6〉 TFEL소자의 C-V 특성



〈그림 7〉 TFEL소자의 (a)인가전압의 파형 및 (b) Q-F_p 특성

그림 7에는 TFEL소자에 주파수 1KHz의 trapezoidal pulse를 인가하여 pulse의 최대전압이 임계전압보다 40V클 때에 구한 Q-F_p 특성이 나타나

있다. 그림 7에서 Q_{cond} 는 발광에 기여하는 conduction charge의 양으로 이는 전계발광소자의 효율을 계산하는 데 이용된다. F_{cs} 는 field-clamping이 될 때의 형광체 내부전계의 크기이다. Q_{relax} 는 인가전압이 최대일 때의 relaxation charge이며, Q_{leak} 는 인가전압이 다시 0V가 될 경우 낮은 준위의 계면상태에 포획된 전자들이 재 tunneling되는 leakage charge이다. 또한 Q_{pol} 은 인가전압의 극성이 바뀔 때 insulator-phosphor 계면에 남아있는 polarization charge의 양이다. 여기에서 Q_{cond} 는 클수록, Q_{leak} 는 작을수록 좋은 전계발광소자가 된다.

이상에서 논의한 바와같이 L-V 특성은 외부적으로 나타나는 현상인데 비하여 C-V 및 Q-F_p 특성은 TFEL소자의 내부에서 발생하는 현상을 나타낸다. TFEL소자의 전기적 특성이 L-V 특성 및 발광효율에 직접적인 영향을 미치므로 TFEL소자의 구조, 재료 및 제조방법을 변화시켜 전기적 특성을 향상시킬 수 있으므로 이를 이용하여 평판 디스플레이에 사용될 수 있는 우수한 성능의 TFEL소자를 개발할 수 있다.

III. TFEL소자의 형광체

TFEL소자를 이용하여 ELD를 만들기 위하여 빛의 삼원색인 적, 녹, 및 청색발광 형광체가 필요하다. TFEL소자에서 발생되는 빛의 색은 형광체(phosphor)에 주입된 미소량의 발광원자인 activator에 따라 달라진다. 주로 TFEL소자의 형광체는 10^6 V/cm 이상의 고전계에 견딜 수 있어야 하므로 에너지 갭(energy gap)이 큰 II-VI족의 화합물 반도체인 ZnS, CaS, SrS 등을 모체로 사용하며 여기에 희토류 원자를 주입하여 형성한다. activator로서는 Mn, Tb, Sm, Tm, Eu, 및 Ce 등이 사용되며 ZnS : Mn의 경우 높은 휘도의 황등색을 발생하게 된다.

1. ZnS 형광체

ZnS : Mn은 매우 높은 휘도 및 발광효율을 나

타내는 형광체로서 발광 peak에서의 파장은 585nm이다. ZnS : Mn의 발광 스펙트럼의 범위는 녹색에서 적색까지 걸쳐 있으므로 휘도가 높은 적색 및 녹색 TFEL소자를 단순히 적색 및 녹색 filter를 사용하므로써 얻을 수 있다.

Tuenge와 Kane은 CdSSe를 이용한 장파장 적색 filter를 이용하여 ZnS : Mn으로부터 적색 TFEL소자를 구현하였으며 이의 휘도는 60Hz에서 75cd/m², CIE 색좌표는 (x=0.65, y=0.35)로서 이는 CRT의 적색과 매우 가까운 값을 알 수 있다. 또한 ZnS : Mn에 녹색 filter를 이용하여 녹색 TFEL소자를 구현할 수 있다.

ZnS : Tb,F는 ZnS : Mn에 버금가는 휘도를 나타내는 형광체로 60Hz에서 125cd/m²의 휘도를 나타내며 full-color ELD의 녹색 형광체로 사용되고 있다. ZnS : Tm,F는 CIE 색좌표가(x=0.11, y=0.09)로서 색순도가 매우 좋은 청색 형광체이나 휘도가 낮아 거의 사용되지 않고 있다.

2. CaS 및 SrS 형광체

CaS : Eu는 발광중심파장이 650nm정도인 적색 발광을 나타내며 CIE 색좌표는(x=0.68, y=0.31)로서 ZnS : Sm, F보다 더욱 순수한 적색을 나타낸다. Eu 원자는 CaS에 쉽게 주입되므로 CaS : Eu는 좋은 특성의 적색형광체가 될 수 있다. CaS : Ce는 505nm 및 570nm에서 발광 peak를 나타내는 녹색발광 형광체로 휘도는 ZnS : Mn의 10% 이내이다.

SrS : Ce는 475nm 및 530nm에 발광 peak가 있는 청록색 형광체이다. Tanaka 등에 의하여 발표된 SrS : Ce는 60Hz에서 65cd/m²의 휘도를 갖고 있으며 청색 filter를 사용하면 CIE 색좌표가(x=0.014, y=0.147), 휘도는 6cd/m²인 청색형광체를 구현할 수 있다.

3. Thiogallate

SrS : Ce를 청색형광체로 쓰기 위하여서는 청색 filter를 써야한다. TFEL소자의 제작시에 공정을 간단히 하기 위하여서는 필터를 사용하지 않는 형광체의 개발이 필수적이다. 최근에 CrGa₂S₄ : Ce,

SrGa₂S₄ : Ce, 및 BrGa₂S₄ : Ce를 이용한 매우 색순도가 좋은 청색형광체가 개발되었다. RF sputtering에 의해 제작된 CrGa₂S₄ : Ce는 459nm에서 발광 peak를 가지며 CIE 색좌표는(x=0.15, y=0.19)로서 60Hz에서의 휘도는 13cd/m²이다. Planar사에서는 SrS : Ce보다 색순도가 우수며 aging특성이 우수한 CaGa₂S₄ : Ce를 청색형광체로 사용하여 full-color ELD를 개발하였다.

4. 백색발광 형광체

백색발광 형광체는 백색 ELD에 사용될 수 있으며 또한 백색으로부터 color filter를 이용하여 적, 녹, 및 청색을 걸러내면 full-color ELD를 구현할 수 있다. SrS : Ce, Eu는 백색발광 형광체이나 휘도 및 효율이 낮아 백색발광 형광체로서 적당하지 못하다. full-color ELD를 color filter를 이용하여 구현하려면 1kHz에서 적어도 3000cd/m²이상의 휘도를 갖는 백색형광체가 필요하다. SrS : Ce/SrS : Eu의 다층구조를 구성하면 SrS : Ce, Eu의 경우보다는 휘도가 높으나 1kHz에서의 휘도는 280cd/m²에 머물렀다.

ZnS : Mn/SrS : Ce를 다층구조로 하여 제안된 백색형광체로부터 Mauch 등은 1kHz에서 4000cd/m² 이상의 휘도를 갖는 형광체를 개발하였다. 이때 color filter를 통한 적, 녹, 및 청색의 휘도는 60Hz에서 39, 90, 및 18cd/m²이었으며 청색의 CIE 색좌표는(x=0.13, y=0.26)이었다. 또한 Sojininen에 의해 atomic layer epitaxy(ALE) 방법으로 성장시킨 ZnS : Mn/SrS : Ce 다층구조로부터 color filter를 통한 적, 녹, 및 청색의 휘도는 60Hz에서 80, 170, 및 15cd/m²이었으며 이때의 CIE 색좌표는 (x=0.64, y=0.36), (x=0.41, y=0.55), 및 (x=0.21, y=0.32)이었다. 이로부터 full-color ELD를 만들기 위해 필요한 최소한의 적, 녹, 및 청색휘도가 만족되었으므로 빠른 시일 내에 전색 ELD의 출현이 예상된다.

이상에서 논의한 여러 형광체의 발광색, CIE 색좌표, 휘도, 및 발광효율을 표 2에 나타내었다.

〈표 2〉

Phosphors	Emission Color	CIE 색좌표		Luminance(cd/m ²)		Luminous Efficiency (lm/W at 1kHz)
		X	Y	1kHz	60HZ	
ZnS : Mn	Orange-Yellow	0.50	0.50	5,000	200	2~4
ZnS : Sm,F	Orange-red	0.60	0.38	120	8	0.05
CaS : Eu	Red	0.68	0.31	200	12	0.05
ZnS : Mn (Filtered)	Red	0.65	0.35	1,250	75	0.8
ZnS : Tb,F	Green	0.32	0.60	2100	125	0.5~1
ZnS : Mn (filtered)	Yellow-green	0.45	0.55	1,300	80	-
ZnS : Tm,F	Blue	0.11	0.09	2	<1	<0.01
SrS : Ce	Blue-green	0.19	0.38	900	65	0.44
ZnS/SrS : Ce	Blue-green	0.26	0.47	1,500	96	1.3
ZnS/SrS : Ce	Blue	0.10	0.26	220	14	0.2
CaGa ₂ S ₄ : Ce	Blue	0.15	0.19	210	13	-
SrS : Ce,Eu	Eggshell-white	0.41	0.39	540	32	0.4
SrS : Ce/CaS : Eu	Paper-white	0.35	0.36	280	17	-
ZnS : Mn/SrS : Ce	Yellow-white	0.42	0.48	2,450	147	1.3

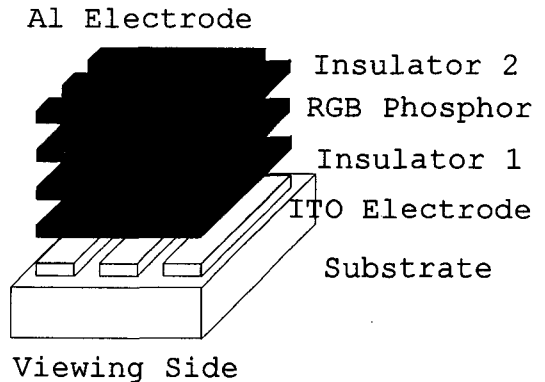
IV. Full-color ELD의 구조

이미 개발된 적, 녹, 청, 및 백색 형광체를 이용하여 여러 종류의 monochrome, multicolor, 및 full-color ELD가 선을 보였다. full-color ELD의 구조는 기본적으로 각각의 적, 녹, 및 청색 형광체를 기관의 한 평면에 구성하는 “patterned phosphor” 방법과 넓은 스펙트럼을 갖는 백색형광체를 color filter를 이용하여 구현하는 “color by white” 방법으로 나눌 수 있다. Planar사에서는 이와같은 방법을 이용하여 full-color ELD를 개발하고 있다.

1. “Patterned Phosphor”에 의한 ELD

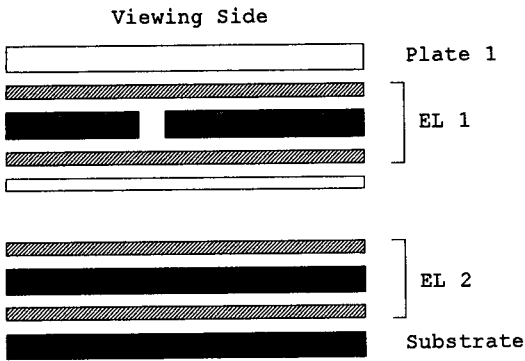
각각의 적, 녹, 및 청색 형광체를 이용한 ELD를 구현하기 위해서는 각 형광체의 휘도가 가장 중요한 요소가 된다. 그림 8에 기본적인 patterned phosphor에 의한 full-color ELD의 구조를 나타내었다.

적색 화소(pixel)에 사용될 형광체로서는 ZnS : Mn에 적색 filter를 사용하여 구성하며 이



〈그림 8〉 Patterned Phosphor를 이용한 full-color ELD구조

와 같은 적색형광체의 휘도 및 aging 특성이 CaS : Eu, ZnS : Sm, 또는 SrS : Eu 등의 형광체보다 월등히 우수하다. 특히 CdSSe를 이용하여 적색 filter를 쉽게 구현할 수 있으므로 ZnS : Mn을 이용하여도 커다란 문제가 되지 않는다. CdSSe 적색 filter를 통과한 적색광의 휘도는 60Hz에서 70cd/m²이며 CIE 색좌표는 (x=0.65,



〈그림 9〉 이중기판을 이용한 full-color ELD구조

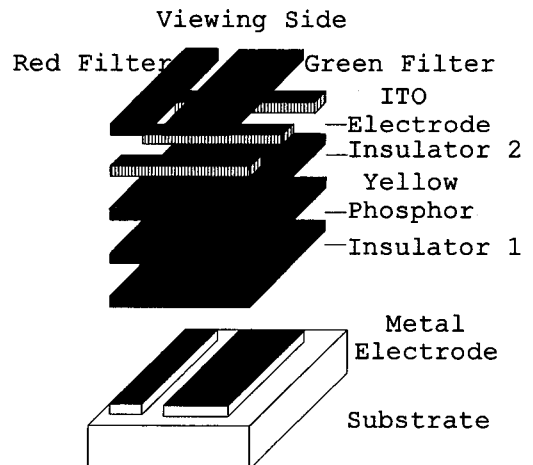
$y=0.35$)이다. 녹색화소에 사용될 형광체로서는 CIE 색좌표가 ($x=0.31, y=0.6$)이며 60Hz에서의 휘도가 $100\text{cd}/\text{m}^2$ 정도인 $\text{ZnS}:\text{Tb}$ 가 있으며, $\text{ZnZ}:\text{Mn}$ 에 녹색 filter를 이용하여 녹색화소로 사용할 수도 있다. filter를 통과한 녹색광의 휘도는 60Hz에서 약 $160\text{cd}/\text{m}^2$ 이며 CIE 색좌표는 ($x=0.44, y=0.56$)이다. 청색화소에 사용될 형광체로서는 현재까지 개발된 청색형광체 중에서 가장 휘도가 높은 $\text{CaGa}_2\text{S}_4:\text{Ce}$ 가 있으며 60Hz에서의 휘도가 $10\text{cd}/\text{m}^2$ 이며 CIE 색좌표가 ($x=0.15, y=0.19$)의 고색순도의 청색임으로 color filter가 없이 사용할 수 있다.

현재까지는 청색형광체의 휘도가 충분하지 못하여 그림 8과 같은 patterned phosphor 형태의 full-color ELD는 발표된 바 없으며 그림 9와 같이 적색 filter를 이용한 $\text{ZnS}:\text{Mn}$, $\text{ZnS}:\text{Tb}$, 및 $\text{CaGa}_2\text{S}_4:\text{Ce}$ 를 각각 적, 녹, 및 청색화소로 이용한 이중기판(dual substrate) 구조의 full-color ELD가 SID'94에서 발표된 바 있다. 이러한 이중기판 ELD의 경우에 각각의 기판을 독립적으로 동작시켜 최적의 색상을 얻을 수 있다. 5" 크기의 화면에 320×256 화소수를 갖는 이중기판 full-color ELD의 적, 녹, 청, 및 백색광의 휘도는 9, 18, 3, 및 $30\text{cd}/\text{m}^2$ 이다. 또한 주위의 밝기가 200lux 일 때에 contrast는 20:1이며 이와 같은 이중기판 full-color ELD가 1995년 중반기에 상품화될 예정이다.

2. "Color by White" 방법에 의한 ELD

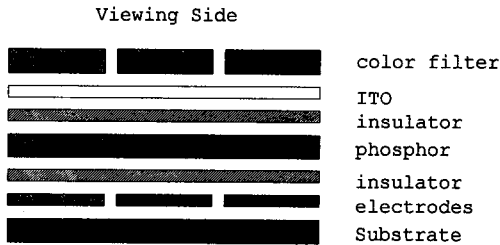
Planar사에서는 full-color ELD를 만들기 위하여 적, 녹색을 이용한 multicolor ELD를 개발하여 시판하고 있다. 그림 10과 같이 $\text{ZnS}:\text{Mn}$ 을 color filter를 이용하여 적, 녹색으로 만든 후 "inverted/filtered" 구조를 채택하여 multicolor ELD를 제작하였다. W 또는 Mo를 이용하여 배면전극을 형성하였으며 녹색 filter의 넓이는 색상의 평형을 위하여 적색필터의 2배로 하였다. multicolor ELD는 monochrome ELD와는 달리 inverted 구조에 의한 휘도의 손실 및 color filter에 의한 손실을 보상하기 위하여 $\text{ZnS}:\text{Mn}$ 형광체의 휘도가 monochrome ELD의 경우에 비해 최소한 2배 이상 높아야 하며 이는 형광체 두께 및 부도체막의 최적화를 통하여 실현하였다. 표 1에 Planar사의 8.5", EGA급 EL640.350-DA1 및 10.2", VGA급 640.480-AA1의 multi-color ELD의 사양을 나타내었다.

full-color ELD는 multicolor ELD와 마찬가지로 그림 11에서의와 같이 백색 형광체를 적, 녹, 및 청색 color filter를 이용하여 구현할 수 있으며 현재 Planar사에서는 다층 $\text{ZnS}:\text{Mn}/\text{SrS}:\text{Ce}$ 백색 형광체를 이용하여 512×256 화소를 갖는 full-color ELD를 곧 시판할 예정이다. 최소 면휘도



〈그림 10〉 inverted multicolor ELD의 구조

(areal luminance)가 15cd/m²인 전색 ELD의 각 화소별 휘도 및 색좌표를 표 3에 나타내었다. 비록 면휘도는 적으나 contrast가 높으면 충분한 응용 분야가 있으므로 contrast를 향상시키는 방법도 동시에 연구되고 있다.



<그림 11> Color filter를 이용한 full-color ELD구조

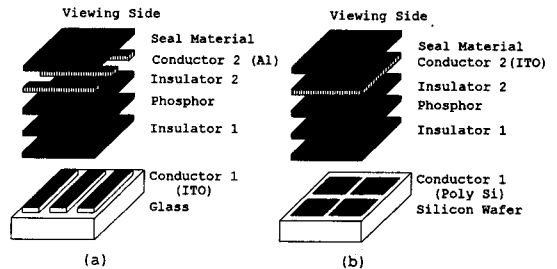
<표 3>

	EL512.256 Min. Areal luminance cd/m ²	Color coordinate	
		x	y
Red	4.0	0.62	0.37
Green	8.5	0.40	0.55
Blue	2.5	0.18	0.30
All pixels on	15	0.38	0.42

AMEL 디스플레이를 제작하였다. 표준 ELD 및 AMEL디스플레이 구조를 그림 12에 비교하였다.

그림 13에는 SOI 기판 위에 반도체 CMOS공정을 이용하여 만든 AMEL 디스플레이의 단위 화소 회로를 나타내었다. 그림 13의 화소회로에서 M1은 data control용 NMOS 또는 PMOS이며 M2는 TFEL소자에 인가되는 고전압을 위한 고전압용 DMOS(double-diffused MOS)이다. TFEL소자에는 DMOS의 drain 공통접지간의 전압이 인가된다. M2는 화소인 TFEL소자에 인가되는 전압을 조절하여 화소를 “ON” 또는 “OFF” 시키는 역할을 한다.

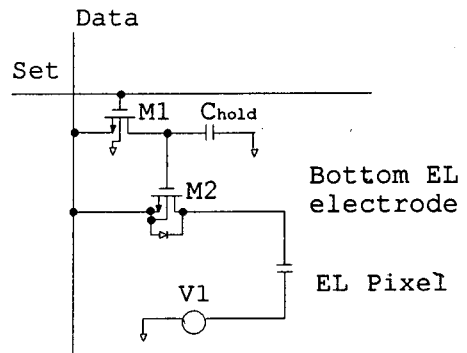
Planar사에서는 이와 같이 화소회로 제작을 위한 표준 CMOS공정과 TFEL소자를 구성하기 위한 ALE 기술을 이용하여 1000 lines per inch (lpi)의 고해상도 AMEL 디스플레이의 개발에 성공하였다. 인가전압의 주파수가 10kHz일때 “ON”



<그림 12> (a) 표준 ELD구조 (b) AMEL 구조

V. Active matrix EL(AMEL) 디스플레이

표준형의 ELD에 active matrix(AM)를 이용하면 각 화소의 동작을 독립적으로 조절할 수 있다. 이러한 AMEL 방법을 이용하면 “ON” 된 화소에서만 전력이 소모되므로 전력효율이 향상되며 또한 휘도, gray scale 등이 현저히 개선될 수 있다. Planar사에서는 silicon-on-insulator(SOI) 기판을 이용하여 128×128 화소의 AMEL 디스플레이를 제작하여 발표하였다. 표준 IC 공정을 이용하여 SOI 기판 위에 active matrix 구동회로를 만들고 그 위에 표준 ELD 제조공정을 이용하여



<그림 13> AMEL 디스플레이의 화소회로

화소의 휘도는 약 1500cd/m²이었으며 contrast는 100 : 1 이상이었다.

VI. 문제점 및 앞으로의 전망

앞서 기술한 바와 같이 TEFL소자를 이용한 ELD는 다른 평판 디스플레이에 비하여 선명한 색상, 넓은 시야각, 긴 수명, 넓은 동작온도 범위, 내충격성, 및 저소비전력 등의 장점을 가지고 있다. 그러나 full-color ELD를 위해서는 아직도 개선해야 할 많은 문제점을 가지고 있다.

먼저 아직도 충분하지 못한 기존의 SrS : Ce, CaGa₂S₄ : Ce 형광체의 청색휘도의 향상을 위한 연구와 동시에 새로운 형광체에 대한 집중적인 연구가 필요하다. 또한 현재의 TFEL 구조에서는 형광체에서 발생하는 빛의 10% 정도가 광출력에 기여하고 나머지 90%가 소모되므로 이를 감소시켜 광출력을 증가시키는 방법이 연구되고 있다.

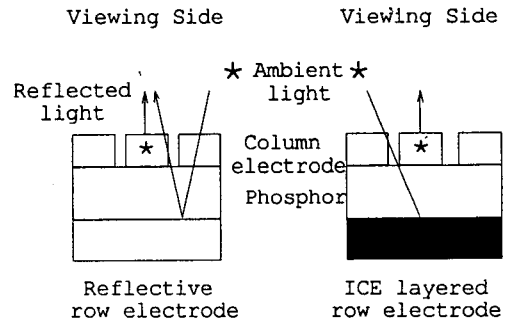
ELD의 가장 큰 문제점의 하나는 동작전압이 매우 높는데 있고 이를 구동시키기 위한 고가의 고전압 IC가 필요한 점이다. 저가의 ELD를 구현하기 위하여는 ELD의 동작전압을 낮추어야 하며, 결과적으로 TFEL소자 절연막의 유전율과 절연과피전압을 매우 높여야 한다. 현재 ALE에 성장된 다층 절연막을 이용하여 ELD의 동작전압을 낮추려는 노력이 진행 중이다.

ELD는 여러층의 박막으로 이루어져 있어 광간섭현상이 발생하며, 배면전극이 금속일 경우에 반사광에 의한 contrast 감소현상이 생긴다. 절연막 및 형광층의 두께를 적절히 조절하고 배면전극과 절연막 사이에 광 흡수층을 삽입하면 휘도 및 contrast를 개선할 수 있다. Planar사에서는 그림 14에서와 같이 gradient index층을 배면전극과 절연막 사이에 넣어 contrast를 향상시키고 있다.

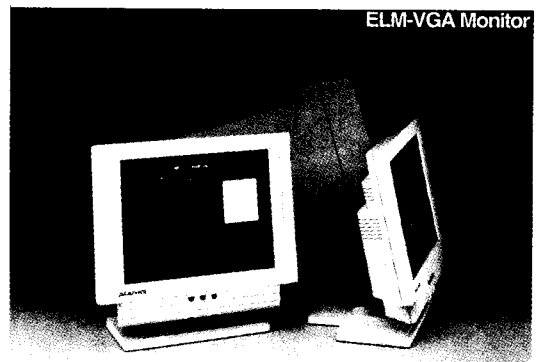
이밖에 chip on glass(COG), ELD의 화소수 증가에 따른 interconnection density의 향상, 저전력화, 새로운 구동회로 및 색필터에 관한 많은 연구가 진행중이며 또한 유기(organic) ELD에 관한

연구도 상당한 수준에 이르고 있다.

현재 Sharp와 Planar System에서 생산중인 monochrome 및 multicolor ELD는 VGA급 PC monitor, 산업용 계측장비의 표시장치로 널리 사용되고 있다. 또한 반도체 표준 CMOS공정 및 ALE 기술을 이용한 고해상도, full-color AMEL 디스플레이의 출현이 예상되며 이로인한 HMD에의 응용이 확산될 전망이다. 이와같이 full-color ELD와 AMEL 디스플레이가 곧 양산되기 시작하면 ELD시장은 급속도로 확대되어 매우 중요한 차세대 평판 디스플레이로서의 역할을 하리라 기대된다. 그림 15는 기존 CRT의 1/10 크기인 Planar사의 VGA급 monitor를 보여주고 있다.



〈그림 14〉 표준 ELD와 gradient index층을 삽입하여 배면전극의 반사를 줄인 새로운 ELD구조



〈그림 15〉 Planar사의 VGA급 ELD

참 고 문 헌

- [1] E.Soininen, M.Leppanen, R.Tornqvist, and J.Viljanen, "Recent Progress in Color Thin-Film EL Displays," EL'94 Digest, pp.19~20(1994).
- [2] S.Tanaka and H.Kobayashi, "White Thin-Film EL Phosphors with Filters for Full Color EL Display Panels," EL'94 Digest, pp.21~22(1994).
- [3] R.Khormaei, S.Thayer, K.Ping, C.King, G. Dolny, A.Ipri, F-L.Hsueh, R.Stewart, T. Keyser, G.Becker, D.Kagey, and M.Spitzer, "High-Resolution Active-Matrix Electroluminescent Display," SID 94 Digest, pp.137~139(1994).
- [4] Reiner H. Mauch, "Electroluminescence Based on Rare Earth Alkaline-Earth -Sulfides," EL'94 Digest, pp.17~18(1994).
- [5] Jane D.Birk, "Emissives Get Brighter-with Colors," Information Display, Vol.10, No. 12, pp.20~22(1994).
- [6] W.A.Barrow, R.E.Covert, E.Dickey, C.N. King, C.Laakso, S.S.Sun, R.T.Tuenge, R.C. Wentross, and J.Kane, "A new class of blue TFEL phosphors with application to a VGA full-color display," SID 93 Digest, pp. 761~764(1993).
- [7] R.H.Mauch, K.O.Velthaus, H.W. Schock, S. Tanaka and H.Kobayashi, "Novel ZnS/SrS : Ce multilayered phosphors for efficient ACTFEL devices," SID 92 Digest, pp. 178~181(1992).
- [8] Y.A.Ono, M.Fuyama, K.Onisawa, K. Tamura, and M.Ando, "White-light emitting thin film electroluminescent devices with stacked SrS : Ce/CaS : Eu active layers," J. Appl. 66, pp.5564~5571(1989).
- [9] S.Tanaka, Y.Mikami, H.Deguchi, and H. Kobayashi, "White light emitting thin-film electroluminescent devices with SrS : Ce,Cl /ZnS : Mn double phosphor layers," Jpn. J. Appl. Phys. 25, pp.L225~L227(1986).
- [10] W.A.Barrow, R.W.Covert, and C.N.King, "Strontium sulphide : the host for a new high-efficiency thin-film EL blue phosphor," SID 84 Digest, pp.249~250(1984).
- [11] G.Destriau, "Recherches sur les scintillations des sulfures de zinc aux rayons," J. Chim. Phys. 33, pp.587~625(1936).
- [12] T. Inoguchi, M.Takeda, Y.Kakihara, Y. Nakata, and M.Yoshida, "Stable high-brightness thin film electroluminescent panels," SID 74 Digest, pp.84~85(1974).
- [13] T.Suntola, J.Anston, A.Pakkala, and S. Linfors, SID 80 Digest, pp.108~109(1980).
- [14] Y.A.Ono, *Electroluminescence*, Encyclopedia of Applied Physics, Vol.5, VCH Publishers Inc., Japan, 1992.
- [15] A.Abu-Dayah, S.Kobayashi, and J.F. Wager, "Internal charge-phosphor field characteristics of alternating-current thin film electroluminescent devices," Appl. Phys. Lett., Vol.62, No.7, pp.744~746 (1993).

저 자 소 개



吳 明 煥

1943年 6月 10日生

1965年 2月 서울대학교 공과대학 전기공학과(공학사)

1972年 2月 서울대학교 대학원(공학석사)

1979年 10月 프랑스 PAUL SABATIER대학교 대학원(공학박사)

1965年~1967年

ROTC 군복무(소위)

1965年~현재

한국과학기술연구원(KIST) 책임연구원

주관심 분야: ZnO 및 ZnS 반도체 응용기술, MEMS 응용기술
(Varistor, Sensor 및 Electronic Display 소자)



林 聖 圭

1953年 8月 6日生

1977年 2月 서울대학교 공과대학 전자공학과 학사

1977年 2月 서울대학교 대학원 전자공학과 석사

1993年 6月 Oregon State University 전기 및 Computer 공학과 박사

1979年 3月~1981年 1月

해군사관학교 전자공학과 교관

1981年 5月~1982年 2月

삼성전자 반도체사업부 주임연구원

1982年 3月~1995年 1月

단국대학교 전자공학과 전임강사, 조교수, 부교수

1986年 9月 1987年 1月

University of Arizona 연구교수

1987年 2月~1997年 8月

Oregon State University 연구교수

1993年 6月~현재

Member of Phi Kappa Phi

주관심 분야: Optical Interference Filter, Inhomogeneous Dielectrics, Optical Switches,
Electroluminescent Display, Field Emitter Display