

직류 구동 EL을 이용한 평판 화상 표시장치의 연구동향

정 인 재 김 형 곤 오 명 환
(한국과학기술원)

자 례

1. 서론
2. EL 동작원리
3. 직류 EL용 재료
 - 3.1 투명 전극
 - 3.2 EL 분말
 - 3.3 구리도금
4. 직류 EL 평판 제작 기술
 - 4.1 EL 평판 제작
 - 4.2 발광층 형성
5. 직류 EL평판의 열화 형태
6. 주변 전자 회로
7. 결론

1. 서 론

최근 반도체 제조기술의 발전과 함께 전자회로의 집적도가 크게 향상되고 있으며, 이에 따라 전자시스템의 성능 및 기능의 다양성이 급속도로 발전하고 있다. 반면에 이러한 전자 시스템과 주변환경 특히 인간과 접속시키는 방법은 상대적으로 낙후되어 있는 실정이며 이에 대한 주된 원인의 하나로 소규모 경량화를 추구하는 전자 시스템에 비해 이에 상응되는 표시장치기술의 미흡함을 들 수 있다. 최근 이러한 표시장치의 중요성 및 문제점들이 인식되기 시작하여 미국, 유럽 등 기술 선진국에서 많은 연구와 투자가 진행중이며 특히, 일본의 경우 평판 표시장치의 개발이 국가주도 대형 과제의 하나로 추진되고 있어 국내에서도 본격적인 연구가 절실히 필요한 분야이다.

표시장치는 기본적으로 눈으로 인식 가능하게 하는 시각효과(visual effect) 기능과 주어진 위치에 원하는 정보를 나타내게 하는 정보표현(position/addressing)의 두 가지 기능을 갖추어야 한다. 시각효과 기능에는 CRT(Cathod Ray Tube), LED(Light Emitting Diode), PDP(Plasma Display Panel) 등 스스로 빛을 발광하는 능동형 시각효과를 가진 것과, LCD(Liquid Crystal Display), ECD(Electro Chromic Display), EPID(Electrophoretic Display) 등 주변 빛을 변조하여 시각효과를 나타내는 수동형 기능을 가진 것으로 대별할 수 있다. 정보를 나타내게 하는 정보표현 기능은 원하는 정보의 내용과 표시방법 등에 따라 요구되는 기능이 달라지며, 문자 및 숫자를 표시하고자 하는 경우에는 비교적 간단하나, TV 화면과 같이 움직이는 화상을 표시하려는 경우에는 매트릭스 방식을 이용하기 때문에 복잡한 주변장치가 필요하다. 평판 화상표시 장치는 이러한 주변장치의 특성을 고려하여 설계되어야 한다. 또한 화상표시장치는 밝기, 색상, 명암대비(contrast)와 허용시각(viewing angle) 등 표시능력이 우수해야 하고 재료, 구동전압, 구동주파수 및 제조기술등 제조 및 사용에 필요한 경비가 저렴해

야 하며 수명 강도, 표시면적 등도 우수해야 한다.^{1)~4)}

표 1 에는 현재 연구개발중인 화상표시장치의 제 특성을 요약하여 나타내었다.

본 고에서는 위에서 말한 화상표시장치로서의 모든 요건을 대부분 만족시키며 제조공정 등이 비교적 용이하고 평면화상표시장치의 대규모 생산에 알맞는 것으로 알려진 직류형 분말 EL을 이용한 표시장치 기술에 대해 논의한다. 서론에 이어 2 장에서는 EL의 동작원리 및 동작특성에 대해 설명하고 3 장에서는 투명 전극, EL 분말 처리과정 및 분말의 구리 도금 과정 등 직류 EL용 재료의 제조방법 및 특성 등에 대해 기술한다. 4 장에서 EL 평판 제작 및 발광층 형성 과정에 관해 설명하고 이상의 방법으로 제작된 직류구동형 EL 평판의 열화형태 및 이들의 해결책에 대해 5 장에 설명한다. 6 장에서는 이들 평판표시장치를 구동하기 위한 주변 전자 회로의 집적화 기술에 대해 설명하며 마지막으로 결론 및 앞으로의 연구방향을 7 장에 제시한다.

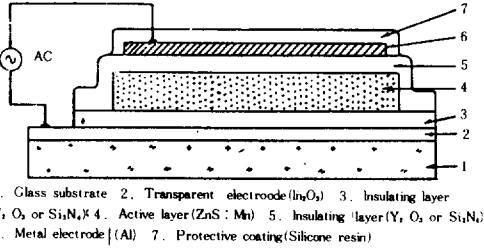
2. EL 동작원리

광전 효과의 역 과정인 발광(luminescence)과정은 여기(excitation) 과정 및 발광전이(radiative transition) 과정으로 구분될 수 있다. 여기과정은 이를 유발하는 에너지원에 따라 광자에 의한 PL(Photo Luminescence), 전자 집속선에 의한 CL(Cathode Luminescence), 전류 및 전장에 의한 EL(Electro Luminescence) 등으로 구분되며 EL은 다시 LED 등과 같이 소수 캐리어 주입에 의한 주입형(injection) EL과 열평형 상태의 전자를 가속시켜 그 충돌에 의해 여기되는 진성형(intrinsic) EL로 나누어진다. 발광전이에는 전도대역에서 기저대역으로의 천이(band-to-band transition), 불순물 혹은 결함을 통한 천이 및 가속전자(hot carrier)에 의한 발광중심(localized center)에서의 천이 등을 들 수 있다.⁵⁾

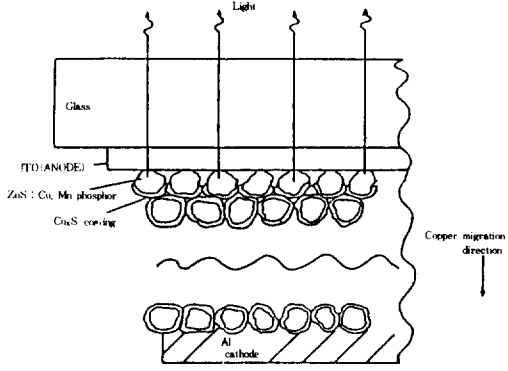
표시장치용 EL은 가속전자에 의한 발광 중심에서의 천이를 이용한 진성형 EL로서 크게 교류구동

표 1. 최근 연구중인 각종 평면 TV 표시장치기술의 특성비교.

성 능	CRT	PDP	ELD	LCD
응답속도	1 μ s	20 μ s	1 μ s	2 ms
구동전압	10 ³ -10 ⁴ V	100V	50V	5 V
소비전력	1 KW	대 형 150W 고해상도 100W	10W	0.1 - 3 W
위 도	50fL	150fL	300fL	300fL
표시면적	1000 \times 1000mm ² 1100 \times 1100 \times 1000mm ³	대형 1000 \times 1000mm ² 1100 \times 1100 \times 50mm ³ 고해상도 200 \times 300mm ² 230 \times 330 \times 20mm ³ (2000 \times 2000 dot)	200 \times 300mm ² 230 \times 330 \times 20mm ³ (2000 \times 2000dot)	200 \times 330mm ² 230 \times 330 \times 20mm ³ (2000 \times 2000dot)
해 상 도	8 점/mm	대형 2 점/mm 고해상도 10점/mm	10점/mm	10점/mm
시각의존성 (viewing angle)	$\pm 60^\circ$	$\pm 60^\circ$	$\pm 60^\circ$	-30 $^\circ$ ~ +60 $^\circ$
Memory기능	일부, 유	AC형 유 DC형 무	유	유
수명(half life)	10 ⁴ h	10 ⁵ h	10 ⁵ h	10 ⁵ h
Technology	미세가공기술	미세가공기술	박막미세가공기술	박막미세가공 기술
Materials		형광재료 전극재료 혼합가스재료	EL 발광재료 전극재료	액정재료 박막능동소자재료



(a) 교류 구동형 EL 표시 장치의 구조



(b) 직류 구동형 EL 표시 장치의 구조

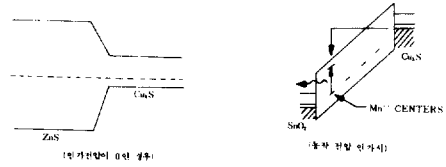
그림 1. EL 표시 장치의 구조

형 표시 장치와 직류구동형 표시 장치로 나눌 수 있으며 그림 1에 이들의 구조를 나타내었다.

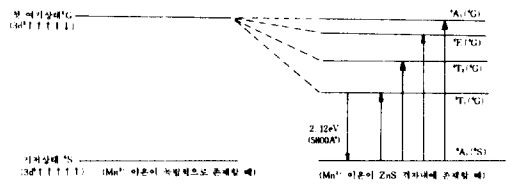
교류구동형은 ZnS:Mn층 양단에 V_2O_5 , Si_3N_4 , HfO_2 , Al_2O_3 , $PbTiO_3$ 등의 절연층을 입혀서 MIS (Metal-Insulator-Semiconductor) 구조를 형성하므로 콘덴서와 비슷한 구조로 동작하여 직류 구동형은 ZnS:Mn 발광층 형성 과정 (forming process) 을 거쳐 저항성 (resistive) 으로 작용한다. 또한 EL 표시 장치는 ZnS:Mn층을 형성시키는 방법에 따라서 박막형과 분말을 이용한 후막형 EL 표시 장치로 구분되기도 한다.

직류 구동형 분말 EL을 이용한 표시 장치에서 동작전압을 인가한 경우와 그렇지 않은 경우의 투명전극 - ZnS:Mn - Cu_xS 경계면의 에너지대 구조를 그림 2-a에 나타내었다.⁶⁾ ZnS 격자 내에 Mn 이온이 존재하면 축퇴상태 (degenerate state) 로 되어있던 기저상태 (6S) 와 첫 여기상태 (6G) 가 분리되어 그림 2-b와 같이 된다. Mn과 Cu가 첨가된 ZnS EL의 경우 동작전압이 인가되면, 5700Å~5800Å 파장대의 옅은 빛이 나타나게 된다. 이것은 ZnS 격자 사이를

통과하는 가속된 전자가 Mn 이온을 직접 충격 (direct impact) 에 의해 여기시키므로서 Mn 이온에서 2.12



(a) Cu_xS -ZnS-ITO (투명전극) 경계면의 에너지대



(b) Mn^{+2} 이온의 기저상태 및 여기상태의 에너지대

그림 2. 직류 구동 분말 EL 표시 장치의 동작원리

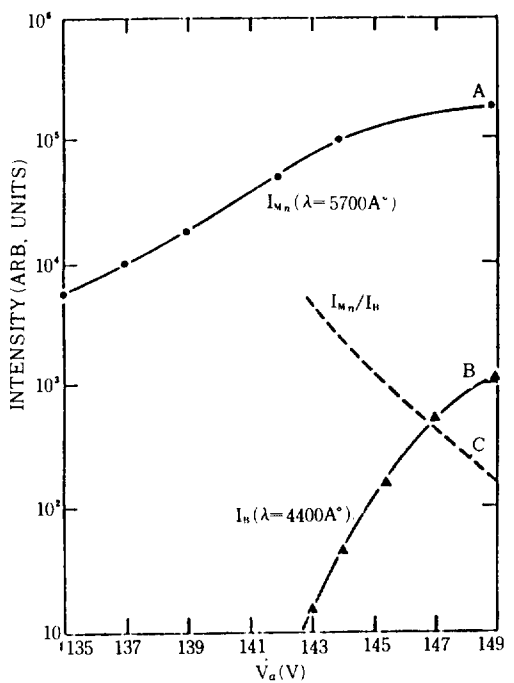


그림 3. Mn과Cu가 첨가된 ZnS에서 발광하는 두 파장대의 인가 전압 의존성 및 그 상대적인 밝기의 비교

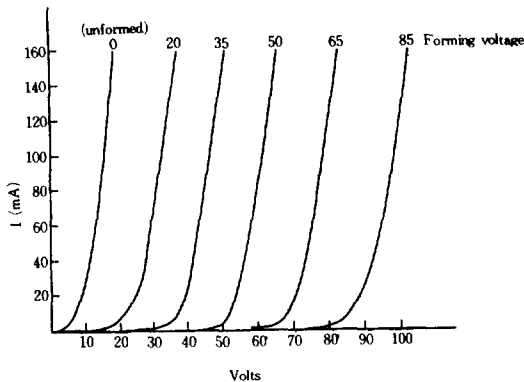
eV의 에너지 차를 갖는 $T_1(^4G)$ 에서 $A_1(^6S)$ 로의 방사천이가 일어나기 때문이며, 이 때 Cu가 직접적으로 발광에 참여한 흔적은 나타나지 않는다.

Mn과 Cu가 첨가된 ZnS EL의 경우 오렌지빛외에 140Volt이상의 높은 동작 전압에서 4400Å을 중심으로 한 넓은 파장대의 푸른빛도 발생하는데 이는 3.8eV이상의 큰 에너지를 갖는 가속전자가 ZnS 격자와 충돌하여 이를 이온화(lattice impact ionization) 시킴으로써 발생하는 것이다. 따라서, ZnS : Mn, Cu 발광층에서는 강한 오렌지빛과 약한 blue 빛이 동시에 나타날 수 있으며 이들 두 파장대의 강도 및 그 상대비는 그림 3 과 같다.

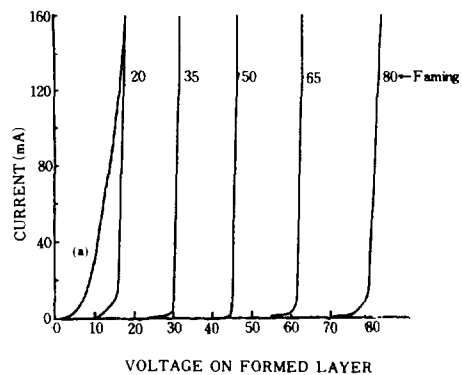
직류 구동 EL의 전류-전압특성은 그림 4 에 나타낸 바와 같다. 형성과정을 거치지 않은(unformed) 발광층의 경우에는 접착제를 포함한 phosphor 층의 비저항이 $2\Omega \cdot \text{cm}$ 정도인데 반해 투명전극 및 Al_2O_3 절연층등의 비저항은 $200\Omega \cdot \text{cm}$ 정도이므로 전압-전류 특성은 발광층이외의 재질에 의해 결정됨을 알 수 있다. 그러나 형성과정을 거친(formed) 발광층의 전류-전압특성은 그림 4-b에 보인 바와 같이 높은 전압쪽으로 평행이동하는 것으로 보아 형성과정을 거친 발광층의 특성만이 변함을 알 수 있다. 즉 발광층 형성 전압이 증가함에 따라 EL층이 발광할 수 있는 임계전압도 증가하는데 이는 발광층 형성 전압에 따라 절연성 ZnS 발광층의 두께가 늘어나게 되

고 이에 따라 전극간의 전계형성을 위해 높은 전압이 요구되기 때문이다. 실제 발광층 형성전압을 증가시키면서 그 용량을 측정된 결과 점차 감소하였으며 각 임계 전압에서 ZnS : Mn내의 전계는 $8 \times 10^6 \text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ 이 되어 ZnS 격자내에서의 가속전자 (hot electron)가 발생하기 시작하는 전계와 거의 일치한다.

발광에 필요한 충분한 전류가 흐르려면 형성된 발광층에 임계전압이상의 전압이 가해져야 하며, 주어진 전류에 대한 밝기가 발광층의 두께에 따라 증가한다는 사실에서 직류 EL에서의 전도과정이 ZnS 와 전극의 접촉효과에 의한 것이라기 보다는 ZnS 체적효과(bulk effect)에 의한 것임을 알 수 있으며 이는 ZnS : Cu_xS_y 이종접합에 의해 전기적 특성이 결정된다는 종전의 이론과 상반된 현상이다. 또한 전도대의 기저상태로 부터 2.12eV이상의 에너지를 갖는 가속전자와의 충돌에 의해서만 Mn이온이 여기되므로 가속전자들은 발광층의 체적내에 존재한다고 추측할 수 있다. 한편 전도를 위한 임계전계(critical field)가 존재한다는 사실로부터 도전기구(conduction mechanism)는 avalanche breakdown에 의한 것임을 알 수 있다.⁷ 이러한 사실은 발광층의 전류-전압 특성에서 흐르는 전류가 양단에 인가된 전압과 무관하다는 사실에서도 알 수 있으나 avalanche증배 과정이 가전자대의 전자를 전도대로 여



(a) EL 표시관의 전류-전압특성



(b) 발광층만에 의한 전류전압 특성

그림 4. 직류 EL에서의 발광층 형성 전압에 따른 전류-전압 특성

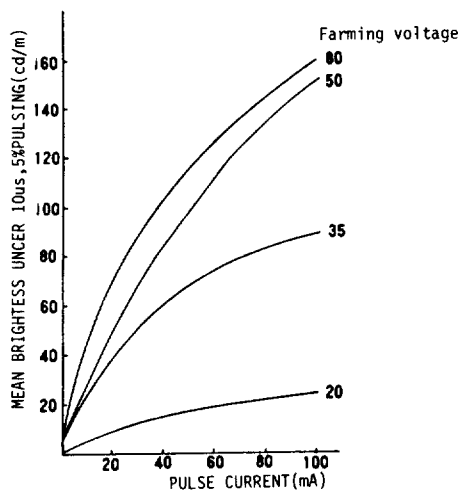
기시키는 것인지, 전도대내의 갇힌전자를 여기시키는 것인지 혹은 이들의 복합상태인지는 잘 알려져 있지 않다.

공간 전하가 없는 경우 전계는 투명전극과 발광층이 접촉한 부위에서 가장 강하며 전류가 처음 흐르기 시작할 때 이 부분에서 부터 avalanche 현상이 발생하게 된다. 이러한 과정이 시작될 때는 기저대의 전자가 전도대의 가속전자에 의해 충격 여기되어 전도대로 이동하고 정공밀도가 증가일뿐 아니라 trap으로 부터의 전자들도 여기되어 전도대로 이동하므로 양전하를 갖는 빈 trap이 금지대내에 많이

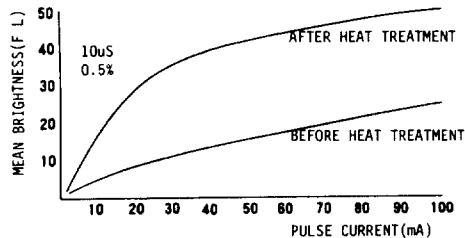
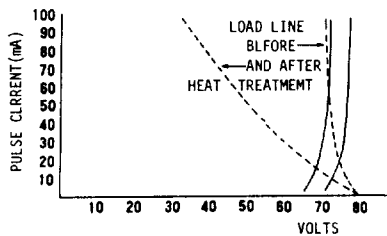
생성된다. 양전하의 이동도가 전자의 그것에 비해 훨씬 작으므로 접촉부위에 양전하가 축적되고 이로 인해 전장의 크기가 감소하므로 충분한 전류를 흘리기 위해서는 필요한 예상전압보다 더 높은 전압을 인가하여야 한다. 이와 같은 도전기구(conduction mechanism) 모델은 전류-전압 특성의 비대칭성을 잘 설명할 수 있으며 종래 이를 설명하기 위해 제안된 ZnS : Cu_xS의 이종접합, ZnS의 avalanche 층이 직렬로 연결된 동작기구 등이 동일 전압의 방향에 따른 빛 밝기의 차이를 설명 못한 점을 잘 보완해 준다.

직류 EL에서의 전류-전압에 의한 전기적 특성과 함께 구동 전류와 평균 밝기의 특성도 중요하다. 그림 5에서 보는 바와 같이 구동 전류가 증가하면 빛의 밝기는 점차 증가하는 추세를 보이지만 10 μs 펄스폭의 0.5% duty cycle로 동작할 때 170-350 (cd·m⁻²) 정도에서 포화상태가 발생하는데 이는 Mn 이온의 수(N)와 약 1ms 정도의 값을 갖는 방사 감소 시정수(radiative decay time constant, τ)에 의해 결정되는 계산상의 출력 N/τ에는 훨씬 못 미치는 값이다. 실제 전극면적 및 흐르는 전류로부터 계산된 평균전류밀도의 10-100배의 전류밀도를 가져야만 Mn²⁺가 여기 됨을 알 수 있고 이로부터 ZnS에 존재하는 Mn²⁺이온중 고전장 및 고전류밀도 영역에 존재하는 일부만이 발광에 참여하고 있다는 사실을 알 수 있다. 이는 발광 입자의 구조 및 입자크기의 분포에 따라 전류 밀도의 차이가 나기 때문이다. 이러한 현상은 열처리 과정을 통하여 부하선(load line)의 저항치를 증가시킴으로써, 입자간의 전류분포를 균일하게 할 수 있어서 이 결과를 이용하면 포화되는 빛의 세기를 더욱 증가시킬 수 있다. (그림 4-b 참조).

예상보다 낮은 발광치에서 포화되는 또 다른 이유는 발광층 내부에서 전계분포가 일정하지 못하여 avalanche를 발생시키는데 필요한 임계 전계에 도달하지 못하는 부분이 존재하는 것과 비방사성 Mn²⁺ 이온의 재결합에 의한 에너지 손실 등도 원인이 될 수 있다.



(a) 구동전류- 밝기의 특성



(b) 열처리 과정에 의한 전류- 밝기의 특성

그림 5. 발광층의 형성전압에 따른 구동전류- 평균 밝기의 특성

3. 직류 EL용 재료

3.1 투명 전극 및 유리 기판

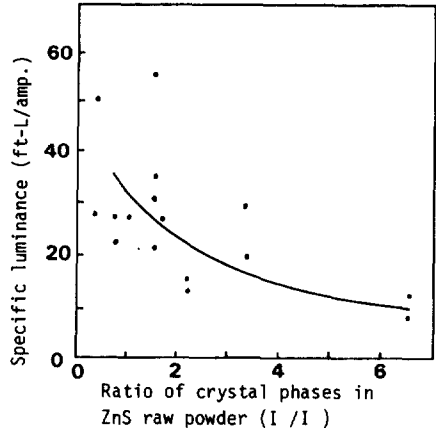
EL표시 장치에 사용되는 유리 기판은 고른 전류 분포를 위해 표면상태가 균일해야 하며, 열팽창 계수가 ZnS의 그것과 거의 비슷해야 한다. 일반적으로 Soda-limed유리인 Corning사의 7059가 적당하며 이 유리의 열팽창 계수는 $4.59\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 이다. 유리위에 코우팅 되는 투명전극은 전기 전도도 및 광 투과성이 우수해야 하며 그 두께도 매우 균일해야 간섭현상에 의한 빛의 산란을 방지할 수 있다.

현재까지 알려진 물질에는 TO (SnO_2), ATO ($\text{SnO}_2 : \text{Sb}$), FTO ($\text{SnO}_2 : \text{F}$), IO (In_2O_3), ITO ($\text{In}_2\text{O}_3 : \text{Sn}$), ZO (ZnO) 등이 있으며 제조 방법에도 CVD (Chemical Vapor Deposition) 방법, Spray법, Sputtering법, 진공 증착법, 전자선 가열증착법 등 여러가지 방법이 있다.

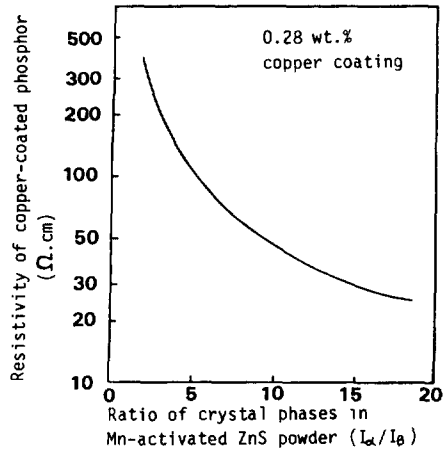
이들중 ITO (Indium Tin Oxide)는 전기 전도도 및 광 투과성이 우수하여 투명 전극으로 많이 이용된다. 일반적으로 ITO 투명 전극을 증착할 때는 고순도의 In_2O_3 분말과 SnO_2 분말을 적정 mole비로 혼합하여 $10\text{t}/\text{cm}^2$ 정도의 압력으로 성형한 것을 E-beam 소스로 사용하여 고진공에서 유리기판 위에 증착하는 방법이 많이 이용되고 있다. 한편, RF Sputtering법으로 ITO를 증착하는 경우에는 Ar과 O_2 분위기 내에서 Sputtering을 수행하는데 이때 O_2 flow rate는 박막의 비저항, 투명도 및 증착속도를 결정하는 중요한 요인이 된다.

3.2 직류 EL 분말⁸⁾

EL을 위한 기본 재질(host material)로 요구되어지는 사항으로는 3eV 이상의 대역폭을 가지며 전자의 평균 자유 행로(mean free path)가 커야 한다. 3.7eV 의 금지 대역폭을 갖는 갖는 ZnS는 이상의 특성을 모두 갖추어 EL의 기본 재질로 널리 쓰인다. 그렇지만, ZnS를 실제 EL용 재료로 사용하기 위해서는 ZnS분말의 특성이 사용조건, 제조업체, 제조시간 등에 따라 매우 다르므로 먼저 직류 EL 발광체로의 사용 가능성 여부를 조사하여야 한다. 즉, ZnS의 결정상(crystal phase)은 구리 코팅 후 EL



(a) 결정상과 밝기의 특성



(b) 결정상과 분말제조후의 발광체의 저항

그림 6. 결정상에 따른 직류 EL의 특성

의 특성에 직접 관계하는 비저항을 결정하는 주된 원인이므로⁹⁾ (그림 6 참조) 발광체를 제조하기 전에 결정 구조를 조사하여야 한다.

ZnS분말의 X선 분석시 나타나는 α -상(hexagonal)과 β -상(cubic)의 specific diffraction선의 강도비 I_α/I_β 는 일반적으로 0.4-6.5정도이며, Mn이 첨가된 ZnS의 I_α/I_β 값도 이 값에 비례하므로 ZnS의 I_α/I_β 비가 약 2 이하의 값을 갖는 경우 대체로 양호한 특성을 나타낸다.

활성체(activator)로 작용하는 첨가제는 $10^{16}\text{V}/\text{cm}$ 이상의 전계에서도 안정하여야 할 뿐 아니라 충격여기가 잘 되기 위해 직경이 커야하며 고용해도(high solubility)를 가지면서 가시 파장대의 발광을 하여야 한다. Mn은 5700\AA - 5800\AA 정도의 밝은 오렌지 파장

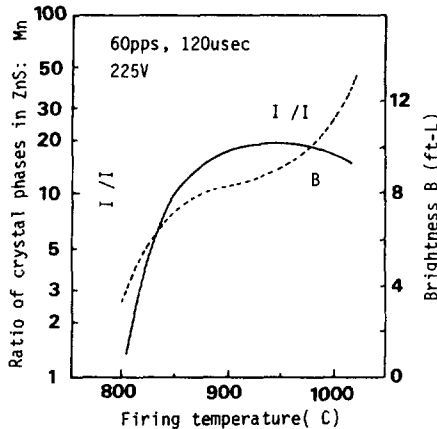


그림 7. ZnS : Mn(0.3wt.%)에서의 소성온도에 따른 밝기 및 결정상 비의 변화

을 나타내며 이러한 특성을 대부분 만족시킨다. ZnS분말에 Mn을 첨가시키기 위해서는 소성(firing)과정이 필요하다. 이때 Mn복합체로서는 MnO , $MnCl_2$, MnF_2 등 여러가지가 있으나 $MnCl_2$ 를 주로 이용한다.

ZnS분말에 $MnCl_2$ 를 혼합한 후 nitrogen분위기에서 950°C로 0.5-2시간 소성함으로써 Mn이 도핑된 ZnS분말을 얻을 수 있다.

그림 7에는 소성온도에 따른 I_a/I_b 의 비와 밝기의 관계를 나타내었으며 Mn이 첨가된 ZnS 입자의 크기 선택 및 그 균일성은 직류 구동용 EL 분말의 특성을 크게 좌우한다. 균일한 크기의 분말을 얻기 위해서는 반응된 ZnS분말을 deionized 물로 발광 특성을 해치지 않는 범위에서 초음파 진동을 이용해 분산 세척한 후 건조시키면 첨가된 Mn의 90% 이상을 포함하는 직경 0.5-2 μ m 정도의 ZnS:Mn분말을 얻을 수 있다. 이 때 Mn의 첨가량은 일반적으로 0.1~1.5wt% 정도의 범위 내에서 하고 있으나 Mn의 첨가량이 증가하게 되면 EL층의 밝기는 약간씩 증가하나 발광체의 입자크기가 증가하므로 균일한 EL층을 형성하기 힘들고 항복전압이 낮아진다. 따라서 적정수준에서 그 첨가량을 결정하여야 한다.

3.3 구리 코팅 과정¹⁰⁾

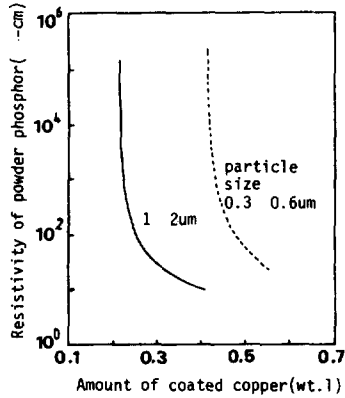
Mn이 첨가된 ZnS입자의 표면에 P형 반도체 층

을 형성하기 위해서는 구리코팅과정이 필요하며 이때, 구리 이온을 포함한 침수용액내의 Cu 이온은 조건 등에 따라 약간씩 차이는 있으나 ZnS의 S와 주로 반응하여 Cu_2S 형태로 ZnS표면에 형성된다.

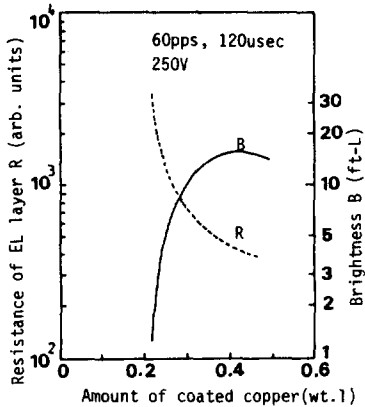
구리 도금에 이용되는 침수 용액은 제1동염(cuprous salt) 및 제2동염(cupric salt) 수용액 등을 사용할 수 있다. 제1동염의 경우 염화구리($CuCl$) 자체만으로는 물에 용해되기 어렵기 때문에 응축된 염산(HCl), 수산화 암모늄(NH_4OH), 염화칼륨(KCl) 등을 첨가하여 복합염(complex salt) 형태로 함으로써 쉽게 용해시킬 수 있다. 제2동염을 이용하는 경우에는 염화 구리($CuCl_2$) 및 황산 구리($CuSO_4$) 등을 사용할 수도 있으나 세척 과정등을 고려하여 아세트산 구리($Cu(CH_3COOH)_2$)가 선호된다. 제2동염 용액을 이용하는 경우 제1동염보다 반응이 느려 도금 시간을 늘이거나 용액의 농축도를 증가하여야 하나 반응이 안정하여 재현성이 증가된다는 장점이 있다.

침수용액인 동염(copper salt)의 농도는 20~90°C에서 0.001-0.1mole/l 정도이고 반응시간은 대략 3-180분 정도로서 정확한 값은 사용되는 동염 및 Mn이 첨가된 ZnS분말의 사용량 등에 의해 정결된다. 실제 발광체 입자 표면에 도금되는 구리의 양은 동염의 종류 및 반응 시간에 따라 조절되며 polarographic 분석에 의하면 보통 상태에서 용액중의 50% 정도의 구리가 도금된다.

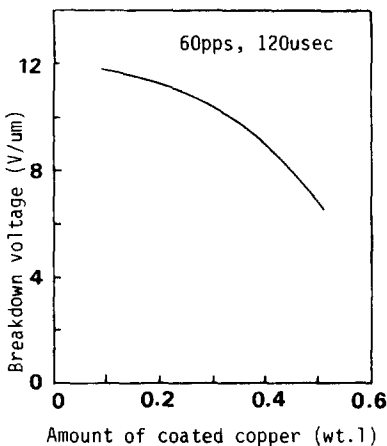
발광층의 특성은 도금된 구리의 양에 따라 좌우되며 이들의 관계를 그림 8에 나타내었다. 그림 8-b에 보인 바와 같이 0.4-0.45wt.%의 구리가 ZnS에 도금된 경우 밝기가 최대가 되나, 평면 TV용포 시장치로 이용하는 경우 낮은 비저항으로 인해 화소(pixel) 간에 누설전류가 발생하여 명암 대비 및 분해능이 저하된다. 또한 그림 8-c에 보인 바와 같이 발광층의 항복전압이 도금된 구리양에 반비례하므로 밝기, 저항치, 항복전압 등을 고려하여 0.25-0.35wt.%가 적당하다. 또한 열화특성을 개선하기 위해 구리 과정에 소량 은을 첨가하기도 한다.



(a) 발광 입자의 크기에 따른 구리의 양과 저항치의 관계



(b) 첨가된 구리의 양에 따른 발광층의 저항값 및 밝기의 관계



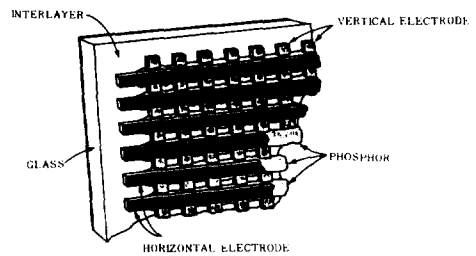
(c) 첨가된 구리의 양에 따른 발광층의 항복전압

그림 8. 첨가된 구리 양에 따른 발광층의 각종특성

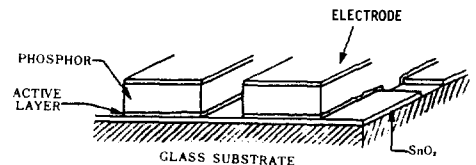
4. 직류 EL 평판 제작 기술

4.1 EL 평판 제작

TV용 EL 평판은 NTSC(National Television System Committee) 방식을 사용하는 경우 화면당 525×640정도의 분해능이 필요하며 그림 9와 같이 가로 및 세로로 평행한 전극을 이용하여 matrix 방법으로 입자의 발광점을 선택할 수 있도록 구성하여야 한다. 직류 구동형 분말 EL 평판의 제조 과정은 다음과 같다. 먼저 세척된 유리기판(Corning 7059)에 E-beam이나 Sputtering 혹은 CVD 등의 방법으로 ITO투명전극을 형성시킨 후 화학적 식각방법을 이용해 640개의 평행 수직 전극(column electrodes)을 형성시킨다. 이때, 전극의 폭과 간격을 표시면의 크기에 따라서 달라지며 가로가 약 85cm 정도의 크기인 경우 510 μ m 폭에 760 μ m 간격의 평행 전극을 갖도록 한다. 형성된 수직전극 위에는 표시면의 전류-전압 특성을 고려하여 100Å 정도의 산화 알루미늄(Al_2O_3)박막을 형성시킨 후 이 위에 ZnS : Mn, Cu분말과 urea resin, nitrocellular 등의 접착제(binder)가 혼합되어 있는 페이스트를 silk-screen 혹은 spray 방법에 의하여 후막을 형성시킨다. 이때, 후막의 두께는 표시화면의 밝기, 안정된 동작 및 항복전압의 요구치 등을 고려하여 20-30 μ m



(a) DC분말형 EL표시판의 전체적 매트릭스 구조



(b) 수직 및 수평 전극의 구조

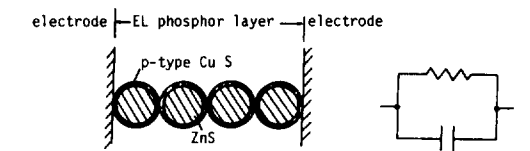
그림 9. 직류 구동 분말형 EL 표시 평판의 구조

정도로 하는 것이 적당하다. 이 위에 $1\mu\text{m}$ 정도의 두께로 알미늄을 증착하고 520개의 수평 전극(row electrode)을 기계적인 scribing 방법으로 형성하면 수 mm 두께의 평면 표시판을 얻을 수 있다.

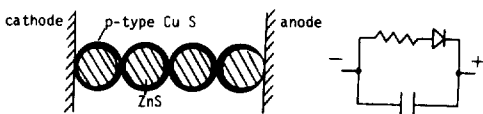
이 때 ZnS 발광층은 습기에 매우 민감하므로 평면 표시판 제조시 molecular sieve 등의 흡수제가 있는 상태에서 주로 작업해야 하며, 10^{-6}torr 이하의 진공상태에서 수 시간 있게함으로써 습기를 완전히 제거한다. 마지막 마무리 단계에서는 ZnS 발광층이 대기에 노출되는 것을 방지하기 위해서 Ar 이나 Si오일을 채운 뒤 밀봉해야 한다.

4.2 형성 (Forming) 과정

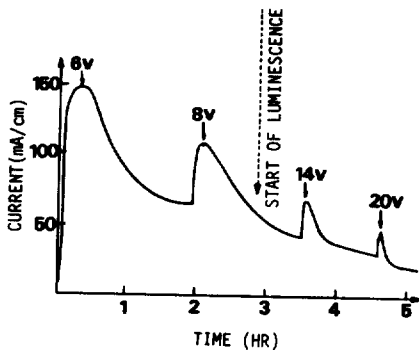
형성과정이란 ZnS : Mn, Cu분말을 이용한 직류 구동 EL 평판에 투명전극인 ITO단을 양(+) 으로 하여 직류전압을 인가해 전류를 흐르게 함으로써 그림10-a와 같이 투명 전극(anode)과 접촉하고 있는



(a) 발광층의 형성과정 이전 단계의 미세구조와 등가회로



(b) 발광층의 형성과정 이후 단계의 미세구조와 등가회로

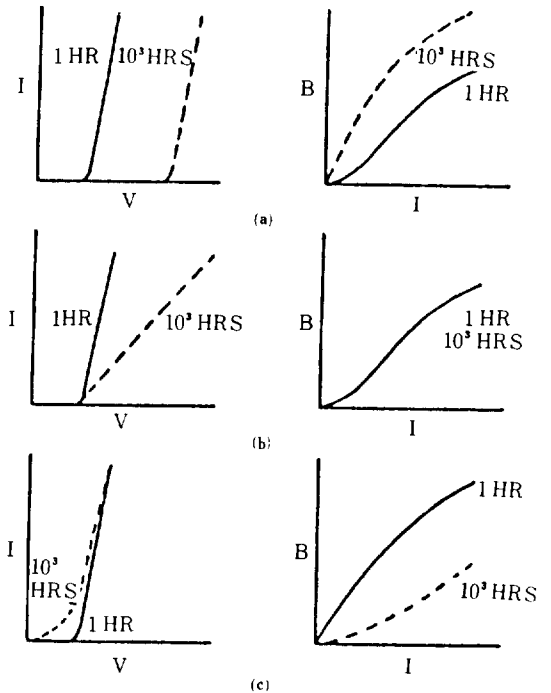


c) 형성과정시 시간에 따른 형성전압-전류특성

그림10. 발광층의 형성과정과 특성변화

발광입자 표면에 도금된 구리를 그림10-b와 같이 제거하는 과정이다.

형성된 발광층의 두께는 형성 전압에 따라 증가하며 일반적으로 초기에 약 10V 정도를 인가하면 100-300mA 정도의 형성 전류가 흐르다가 서서히 감소하며 전류가 충분히 감소한 후 다시 형성 전압을 증가(약 10V 간격) 시키면 전류의 증가가 다시 발생하나 그 최대치는 이전 상태 값보다 작으며 빠른 속도로 감소한다. 이러한 과정을 반복함으로써 요구되는 특성을 나타내는 형성전압(일반적으로 150V 정도)까지 증가시키면(그림10-c 참조) $0.5-1.5\mu\text{m}$ 정도의 구리가 제거된(Cu-depleted) ZnS : Mn 발광층이 형성되는 것을 SEM 등에 의해 확인할 수 있다. 형성 전압 V와 발광층의 밝기 B는 제한된 범위에서 $B=K \cdot V^n$ 의 비직선적 관계로 나타나 펄스 구동시



(a) Further Forming 열화

(b) 부하선 불안정에 의한 열화

(c) Softening 열화

그림11. 열화 형태에 따른 전류-전압 및 전류-밝기의 특성 변화

100V 이상의 최대 형성 전압을 이용하는 경우 6-8의 비직선성 상수 값을 얻을 수 있어 교류 EL 평판을 이용하는 경우보다 2배 이상 밝으며 명암대비 및 crosstalk 현상을 감소시킬 수 있어 대형 표시장치에 적용하기가 유리하다. 발광층 형성 과정은 직류구동 분말 EL 표시장치의 동작 특성에 크게 영향을 미치며 불균일성(inhomogeneous) 재질에 균일한 고전장 영역을 형성시켜 평판 표시장치 전반에 걸쳐 균일한 전류를 흐르게 한다. 이는 재질의 불균일성에 의해 먼저 발광층이 형성된 부분의 비저항이 증가하여 흐르는 전류를 제한함으로써 주변의 형성과정보다 낮은 비율로 형성되므로 결국 소자 전반에 걸쳐 균일한 특성을 나타내게 한다.

형성과정시 또 다른 중요한 점은 처리온도로서 과다한 전류에 의해 120°C 이상으로 온도가 상승하는 경우 Cu_xS 의 결정상 구조가 변하여 발광 효율이 낮아지며 matrix 구조시 동작하지 않는 화소가 발생하기도 한다.

5. 직류 EL 평판의 열화 형태(Failure Mode)

이상과 같은 방법으로 제작된 직류 EL 평판 표시장치는 낮은 duty cycle의 정전압에 의해 동작시켜도 시간에 따라 발광 강도의 감소현상이 관찰되며 이들의 원인 및 대책은 다음과 같다.¹⁰⁾

1) Further forming 열화: 이 열화 형태의 특성은 그림 11-a와 같으며 표시장치의 전류-전압 특성이 동작시간에 따라 높은 전압쪽으로 평행이동하여 임계전압이 높아지는 현상을 나타내 결국, 동일한 동작전압에서 충분한 구동 전류를 흘리지 못하게 되어 발광이 감소하는 열화 형태이다. 수분, organic 물질에 의한 오염, 전력소모에 의한 가열 등이 원인으로 알려진 이 형태의 열화가 발생한 경우, 같은 밝기를 내기 위해서는 구동 전압을 증가시켜야 하며 특성 곡선에서 보는 바와 같이 동일한 전류가 흐르는 경우 열화 이전상태보다 밝기와 포화 밝기(saturation brightness)가 증가하여 좀 더 높은 전압으로 발광층을 형성한 경우와 같은 특성을 나타낸다.

이 열화 현상은 형성과정 이전에 열처리를 행함으

로써 안정화 할 수 있다. 일반적으로 형성과정 이전 단계에서의 발광분말/접착제 층의 비저항이 온도에 따라 변하나 105°C 이상으로 열처리하는 경우 발광층의 안정된 비저항을 얻을 수 있으며 이는 105°C에서 Cu_xS 구조에 상변화가 발생하며 상당한 이온성 전도를 나타내는 것과 관련된다. 또한 계속되는 열화를 방지시키기 위해서는 구동단에 전류제한 회로를 사용하기도 한다.

2) Load-line의 불안정성에 의한 열화: 이 열화 형태의 특성은 그림 11-b에 보인 바와 같이 전류에 대한 밝기의 특성은 변하지 않으나 전류-전압 특성에서 저항 성분이 증가하는 것으로 나타나 동일한 구동 전압에서 흐르는 전류를 감소시켜 발광을 약하게 한다.

평판 표시장치의 형성과정이나 동작시 전력 소모에 의한 온도 상승이 발생한 경우 현저히 나타나는 이러한 결함은 post-forming을 위한 열처리를 행한 것과 비슷한 특성을 나타내며 형성과정을 거치지 않은 발광분말/접착제 층의 저항값증가와 밀접하게 관련되어 있으며 발광입자 도금시 미소량의 Ag를 첨가함으로써 이 열화 형태를 줄일 수 있다. 부하선의 저항치 증가는 발광층의 시정수(R.C) 값을 증가시켜 일반적으로 가장 효율적인 것으로 알려진 10-20 μ s 정도의 구동 펄스를 이용하는 경우 빛의 밝기가 저하된다. 구동 전류 인가 후 빛의 상승시간(rise time)은 발광입자에 존재하는 trap 및 defect center에 의해 지연되나 binder에 황(S)을 첨가함으로써 증가시킬 수 있다.

3) Softening 열화: 이 열화 형태의 전류-전압 특성은 높은 구동 전압에서는 원래 특성과 큰 차이가 없으나 낮은 전압에서 전류가 흐르게 되어(그림 11-c 참조) 주변 빛(background light)을 발생할 뿐 아니라 동작 전류에 대한 광 효율의 저하를 초래한다. 이 열화 형태는 상존하는 것으로서 동일한 동작 전압에서 밝기가 반으로 떨어질 때까지의 수명(HBT: Half Brightness Time)과 직접 관계되는 현상으로 70V에서 약 175Cd·m⁻²의 초기 밝기로 발광층이 형성된 표시장치의 수명은 10 μ s 0.5% duty cycle에서 120V 구동 펄스로 동작되는 경우 약 3×10³시간 정도이며 최근 5~10×10³시간 정도로 향상되고 있다.

이러한 열화 현상은 구리가 제거된 EL 발광입자 표면등으로 전류의 누설경로가 발생하기 때문인 것으로 알려져 있으며 원래의 발광층 형성 과정과 동일한 방법으로 당초 설계된 특성을 재현할 수 있다. 그러나 이 열화 형태는 형성 과정을 거친 발광층이 형성과정 이전 단계로 복귀한 것은 아니며, 전류-전압 특성이 낮은 전압 쪽으로 평행이동하지 않는 것으로 미루어 고 저항값을 갖는 병렬 누설 경로가 형성되는 것이 그 원인이라고 할 수 있다. 이와 같은 형태의 열화도 소량의 Ag를 구리 도금에 첨가함으로써 감소시킬 수 있는 것으로 알려져 있다.

6. 주변 전자 회로

525/200-640메트릭스 구조를 갖는 TV용 EL 평판의 한 발광 소자는 그림12와 같이 등가적으로 표시될 수 있으므로 이러한 소자의 구동을 위한 전자회로의 기본 기능은 평판의 온도 상승을 초래하지 않는 범위에서 고 효율의 밝은 빛을 내도록 유지시키는 것이다. 이를 위해 발광층에 임계전압이상의 전압을 갖는 펄스의 폭 및 펄스 구동율을 전극간 용량 및 과구동(overdrive)의 영향을 고려하여 잘 선택하여야 하며 일반적으로 10-20 μ s의 구동 펄스를 초당 270화면의 비율로 인가하는 경우 안정된 동작의 밝은 빛이 구동 펄스가 끝난 후부터 약 15 μ s 동안에 걸쳐서 발광이 지속된다.

직류 구동형 분말 EL 표시장치의 구동회로의 예로서 Cherry사의 구동회로를 그림13에 나타내었으

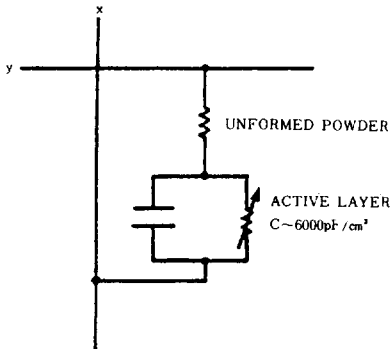


그림12. 직류분말 EL 표시장치의 화소 접근 방식 과 그 전기적 등가회로

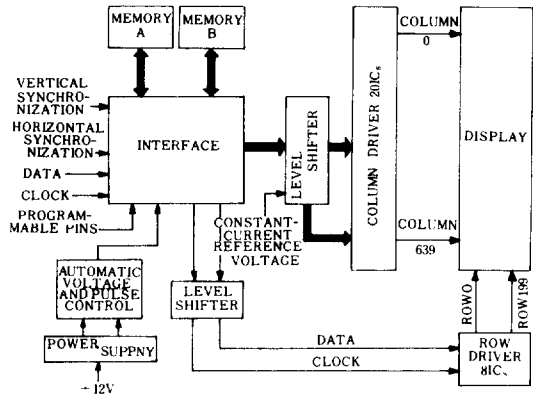


그림13. 직류 EL 평면판 구동회로

며 시스템 접속단, 수직 및 수평 구동을 위한 전압 변환단, 정전류 수직, 수평 구동단, 자동 전압 및 펄스 제어부 및 전원부로 구성된다. 시스템 접속단은 60 frame/sec 화면을 D-RAM을 이용한 기억소자에 저장하여 240frame/sec 화면으로 바꾸어 주며, 수직 수평 시간 펄스 및 프로그램으로 펄스 폭 조절이 가능한 구동 펄스를 제공한다. 전압 변환단은 5V 논리 출력을 수직 구동단의 입력인 12V로 바꾸고 20개 수직구동단을 구동할 수 있는 정전류원을 0-12V 아날로그 신호로부터 만든다. 수직 구동단은 Silicon사 SI 9559D/CMOS 집적회로로써 32bit shift register, Latch 및 논리회로와 구동 IC를 포함

표 2. TV 평면 표시를 위한 DC EL 및 AC EL의 성능 비교

	ac-EL earlier display device (7)(8)	dc-EL present display device
Brightness (ft-L)	0.5 to 1	5 to 10
Contrast ratio	3:1 to 5:1	10:1 to 20:1
Limiting Resolution (TV lines)	about 100	about 150/520
Gray-scale (steps)	4 to 5	16
Color of light emission (peak wavelength: A)	Yellowish green (5300)	Yellowish orange (5850)
Frame rate (Hz)	60 (without interlace)	60/270 (without interlace)
Addressing	line-at-a-time	line-at-a-time
H: one horizontal scanning period, 63.5 μ sec	(period: H interval: H)	period: 2H interval: H
Brightness control	pulse amplitude modulation	pulse width modulation
Dissipation power (watts)	100	150

표 13. 평판 표시장치의 기술별 참여업체의 현황

Electroluminescent		Liquid crystal		Plasma	
Cherry	(U. S.)	Epson	(Japan)	Fujitsu	(Japan)
Fujitsu	(Japan)	Lc Systems	(U. S.)	Hitachi	(Japan)
Lohja i	(U. S.)	Matsushita	(Japan)	IBM	(U. S.)
NEC	(Japan)	Mesa State Lechnology	(U. S.)	Lucitron	(U. S.)
NTT	(Japan)	Sanyo	(Japan)	Mangavox Electronic Systems	(U. S.)
Planar Systems	(U. S.)	Seiko Instruments	(Japan)	Matsushita	(Japan)
Sharp	(Japan)	Sharp	(Japan)	NEC	(Japan)
Sigmatron Nova	(U. S.)	STC Technology	(UK)	Photonics Technology	(U. S.)
		Tektronix	(U. S.)	Plasma Graphics	(U. S.)
		Toshiba	(Japan)		

12V아나로그 신호로 부터 만든다. 수직 구동단은 Siliconix사 SI 9559D/CMOS 집적회로로써 32bit shift register, Latch 및 논리회로와 구동 IC를 포함 하며 출력 구동단은 90V에서 동작하며 100 μ A-1mA의 정 전류원으로 이용가능하다. 수평 구동단은 TI SN65557로써 300mA이상의 전류를 받을 수(sink)있으며 꺼진 상태에서는 100V이상의 전압에서 견딜 수 있다. 자동전압 및 펄스 조정회로는 평면 표시판을 주어진 동작점에서 동작하도록 펄스 폭 및 전압을 전자적으로 조정가능케 한다. 이 시스템의 특징은 과구동의 영향을 줄이기 위해 수직 구동단을 2 단계로 구동하는데 있다. 직류 EL의 임계전압이 70-90V정도라면 먼저 화소의 전압이 약 70V정도가 되도록 짧은 폭의 고전류 펄스를 먼저 인가하고 2 단계로 수직 구동단에 정 전류원을 인가한다. 명암을 나타내는 빛 밝기의 조정은 구동 펄스의 전압을 이용하는 방법과 구동 펄스의 폭을 이용하는 방법이 있으나 직류 EL의 경우 후자의 방법이 선호된다.

7. 결 론

미래의 표시장치로 각광을 받게될 직류 구동 EL을 이용한 평판화상표시장치와 관련되는 기술에 관하여 살펴보았다. 직류 분말형EL 표시장치는 박막형 EL 표시장치보다 제조가 용이하고 표 2에 보인 바와 같이 교류 구동방식에 비하여 밝기(brightness), 명암대비(contrast) 및 명암 간격수(gray scale) 등 제 특성이 우수하므로 상용 TV 표시장치로 각광을 받게 될 것으로 기대된다.

현재 평판 표시장치에 대한 연구 및 기업체의 참여는 표 3에서 보인 바와 같이 EL, 액정, 플라즈마 기술에 골고루 퍼져있는 상태이지만, 상용 TV용 표시장치에는 동작 및 그 요구조건상 EL이 가장 유리하다고 볼 수 있다. 현재 일본의 Sharp 회사는 교류 박막 EL 표시장치를 이용해 192 \times 96mm 크기에 512 \times 256화소를 실현시켜 상품화하고 있으며, 미국의 Planar System사는 같은 기술을 이용해 미국방성의 요구에 의해 2원색 TV 표시장치를 개발하였다. 또한 미국의 Cherry사는 최근 직류분말 EL을 이용해서 270mm \times 150mm 크기에 640 \times 200화소를 실현시켜 10⁴시간 이상 동작한 후에도 불과 30%이하의 밝기 감소 열화현상을 나타내는 저가격고 수명의 평면 TV 표시장치개발에 성공하였다. 이러한 성공은 반도체 제조기술의 발전과 함께 초집적 회로(VLSI)를 이용한 주변 전자 회로가 개발되어 TV로서의 기능 뿐 아니라 직류 EL 표시 장치 자체의 동작상 문제를 회로적으로 보상할 수 있게 됨으로써 가능하였다고 할 수 있다.

앞으로 우리나라에서도 디지털 TV, EQ (Enhanced Quality) TV 및 HD (High Definition) TV 등 고해상도 표시장치에 알맞으며 완전한 color를 재현할 수 있는 반도체형 평판 표시장치의 연구개발에 국가적 차원의 투자가 필요할 것으로 생각되며 지금까지는 별로 관심을 기울이지 않아왔던 이 분야의 기술개발이 시급하다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) I.F. Chang, "Recent Advances in Display Techno-

-
- ologies," Proc. of the SID, Vol. 21 / 2, 1980, PP 45-54.
 - 2) Cyril Hilsun, "Recent progress on Solid State Displays," Inst. phys. conf. ser., No.57, 1981, PP 1-19.
 - 3) L.E. Tanans, JR, "Flat panel display in perspective," Proc. of the SID, Vol. 19 / 4 Fourth Quarter 1978, PP 193-198.
 - 4) E.I. Grodor, L.K. Anderson, "New Display Technologies - An Editorial Viewpoint," Proc. of the IEEE, Vol.61, No.7, July 1973, PP 807-813.
 - 5) J.Kirton, "Panel Electroluminescence," Handbook on Semiconductors, Vol.4, Chap.5C, 1981, PP 665-690.
 - 6) Y.S.Park, B.K.Shin, "Recent Advances in Injection Luminescence in II - VI Compounds," Topics in Applied Physics, Vol.17, Electroluminescence Ed. by Pankove, Cha.4, Springer - Verlag, 1977, PP 135-167.
 - 7) C.T Alder, A.F. Cattell, K.F. Dexter, M.S Skolnick, "An investigation of the electrical and optical properties of DC EL ZnS : Mn, Cu power panel," IEEE Tran. on Electron Devices, Vol. ED-28, No.6, June 1981, PP 680-688.
 - 8) Elliott Schlam, "Electroluminescent Phosphors," Proc. of the IEEE, Vol.61, No.7 July 1973 PP 894-901
 - 9) H.Kawarada & N. Ohshima, "DCEL Materials and Techniques for Flat-panel TV Display," Proc. of IEEE, Vol.61, July 1973, PP. 907-915
 - 10) A.Vecht, N.J. Werring, R.Eils, P.J.F.Smith, "Direct-current Electroluminescence in Zinc Sulphide : State of the Art," Proc. of the IEEE, Vol.61, No.3, July 1973, PP 902-907.
 - 11) Tom manuel "The Picture Brightens in Flat-Panel Technology," Electronics, May 28, 1987, PP 55-64.
-