

기술 특 집

# 무기EL 디스플레이 제조 기술의 현황과 전개

이 성 의 (한국산업기술대학교 신소재공학과)

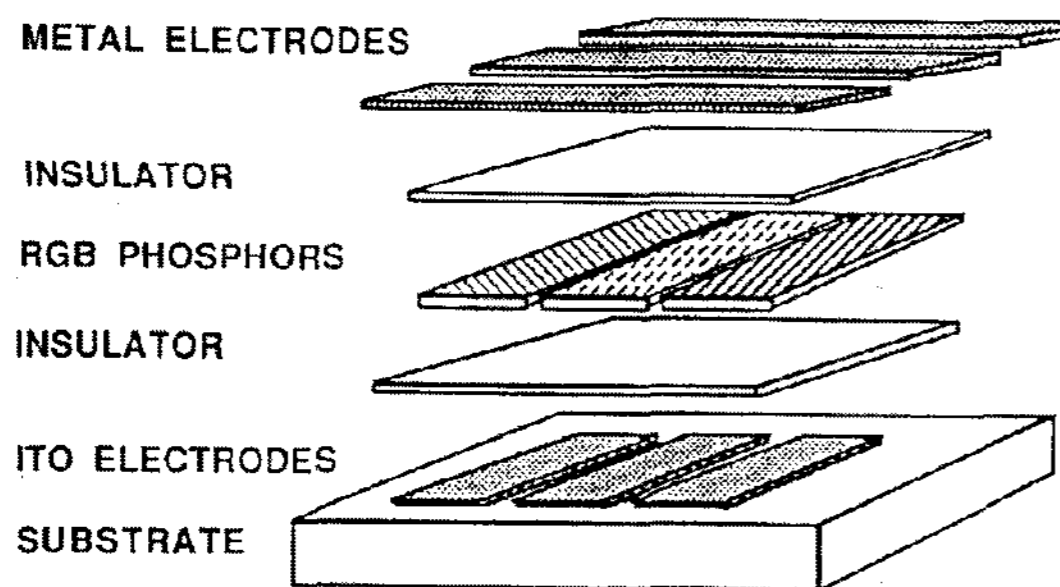
## I. 서 론

무기EL 디스플레이는 고체재료에 전계를 가하였을 때 발광하는 현상(electroluminescent display)을 이용한 소자로서, 그 발견은 1936년으로 거슬러 올라간다. 즉 Destriau 등이 ZnS 형광체 분말이 분산되어 있는 유전체 층에 강한 전계를 가하여 발광현상을 발견한 것으로 부터 연구개발이 시작되었다. 실용화된 평면 발광형 디바이스로 활발하게 연구가 진행되어진 것은 1950년대 이후이다. 특히 1980년대 초에 샤프사에서 개발에 성공한 멀티컬러 디스플레이, 최근 박형 휴대폰 키패드 광원으로 사용되는 평면형 광원, 단색 정보 표시 패널등은 실용화되어 오늘날에 이르렀다. 하지만 정보 디스플레이 분야에서는 내 환경성, 고속응답, 단순공정과 같은 장점을 가지고 있음에도 불구하고, 풀컬러화 (특히 청색재료)와 고휘도에 대한 기술적인 장벽에 부딪쳐, 더 이상의 고품위 디스플레이 시장으로의 확대는 이루어지지 않고 있다. 본 기고에서는 현재까지 개발되어 온 무기EL의 기술 개발 현황에 대하여 정리해 보고자 한다.

[그림 1]은 무기EL의 기본구조를 나타낸 것이다. 전극-유전체-발광층-유전체-전극의 적층구조를 기본으로 하며, 회로적으로는 직렬 캐패시터와 동가이다.

적층구조 상에서 상하 전극에 교류전원을 가하여, 교대로 전계를 인가하면, 유전체와 형광체의 계면 사이의 가속된 전자들이 형광체를 여기시켜 그 재료의 특유한 파장을 가진

빛이 방사되게 된다. 디스플레이로서 다수의 화소를 형성하기 위해서는 라인상으로 패터닝한 상하의 전극이 서로 직교하도록 설계한다. 유전체층은 패터닝 없이 전면으로 형성되고, 컬러화할 경우에는 서로 다른 파장대를 발산하는 발광재료를 패터닝하여 화소를 형성하게 된다. 이러한 적층구조는 글래스 등의 기판 위에 형성되게 되며, 발광을 적층구조의 상부로부터 얻고자 할 경우에는 세라믹 등과 같은 불투명한 기판재료를 사용하는 경우도 있다. LCD나 OLED와 같은 디스플레이의 경우에는 각 화소별로 TFT를 형성하여 휘도와 응답성을 개선하여야 하지만, 무기EL은 크로스 특이 일어나기 어렵고, 또 펄스당 발광강도도 높기 때문에 TFT를 사용하는 예는 극히 드물다. 특히 Thick Film EL의 경우 17인치 이상의 풀컬러 패널이 TFT 없는 passive matrix의 구조로 개발되어 발표되고 있다. OLED와 비교하여 보면 구조적으로는 유사하지만 발광원리는 다르다. OLED에서는 발광층을 사이에 두고 전극에서 각각 공급된 전자와 홀이 재결합할 때 방출되는 에너지를 이용하게 되고, 요구되는 전압특성도 LED와 마찬가지로, 직류로 동작하게 된다. 또한 충분한 밝기를 위해서는 TFT를 사용하여 전류를 연속적으로 공급한다. 재료의 신뢰성면에서 보면 무기EL의 경우 발광층이 무기재료로 형성되므로, 일반적으로 OLED에 사용되는 유기재료에 비하여 수명이 길고 사용될 수 있는 온도 범위가 넓어지게 된다. 대형화의 관점에서 본다면, 전압구동형인 무기EL은 전류구동형 소자인 OLED보다 유리한 측면이 있다. 무기EL의 경우 발광을 시작하는 전압이 약 150V 정도로 OLED보다 매우 높지만 그만큼 같은 전력을 공급하기 위한 전류는 적어도 된다는 장점이 있다. 따라서 패널이 대형화되어도 전극 라인 저항에 의한 전압강화가 적고 균일한 표시를 얻을 수 있는 가능성이 있다고 알려져 있다.

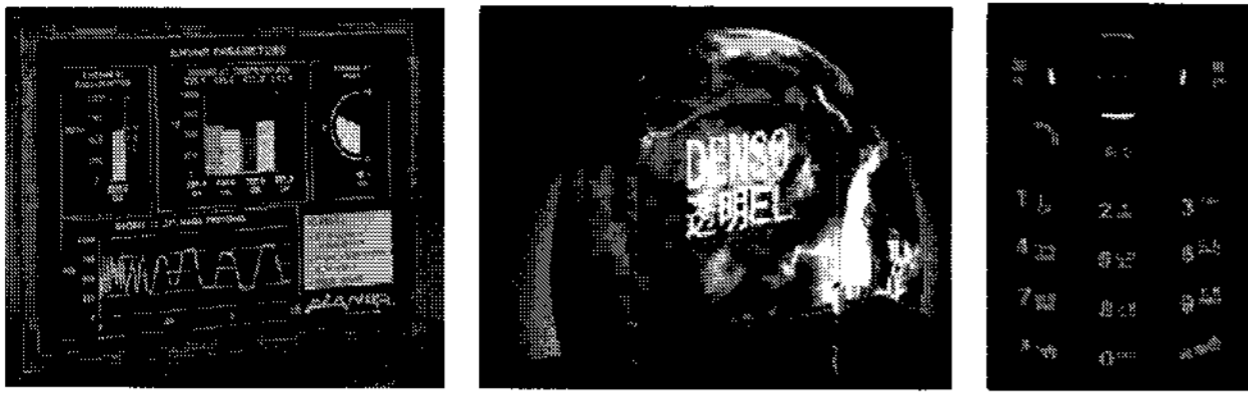


[그림 1] 무기EL 기본구조.

## II. 무기EL 개발 현황

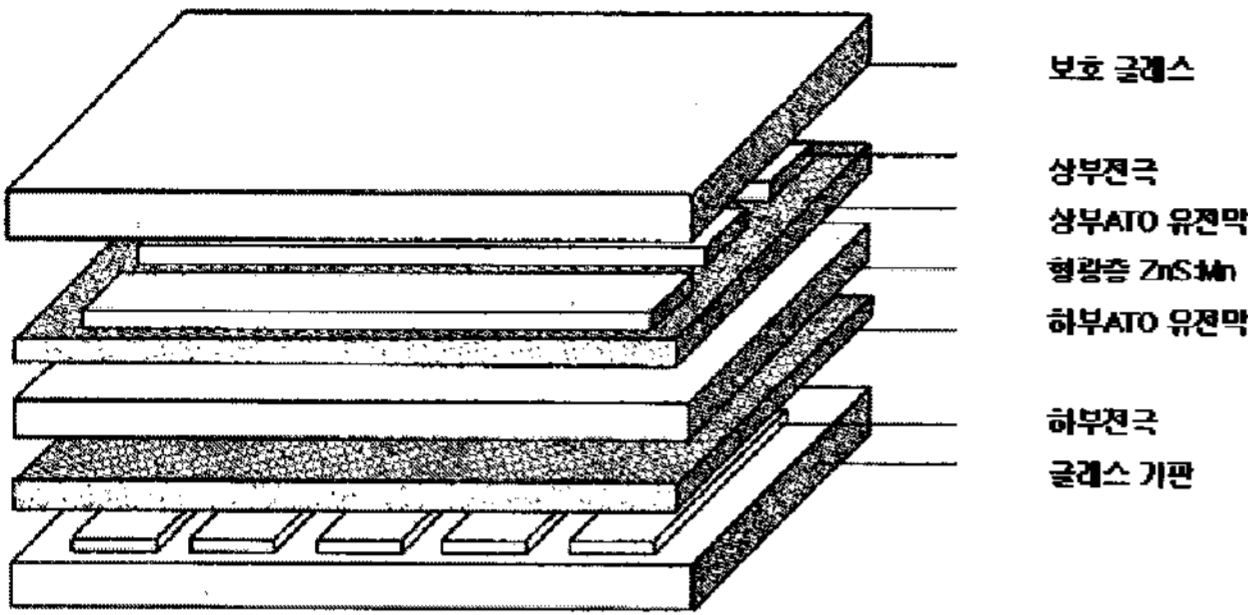
### 1. 박막 EL

박막EL은 대표적인 무기EL 구조 중의 하나이다. 오랜



(a) 정보소자 (b) 투명광고패널 (c) 평면광원

[그림 2] 각종 박막 EL 디바이스

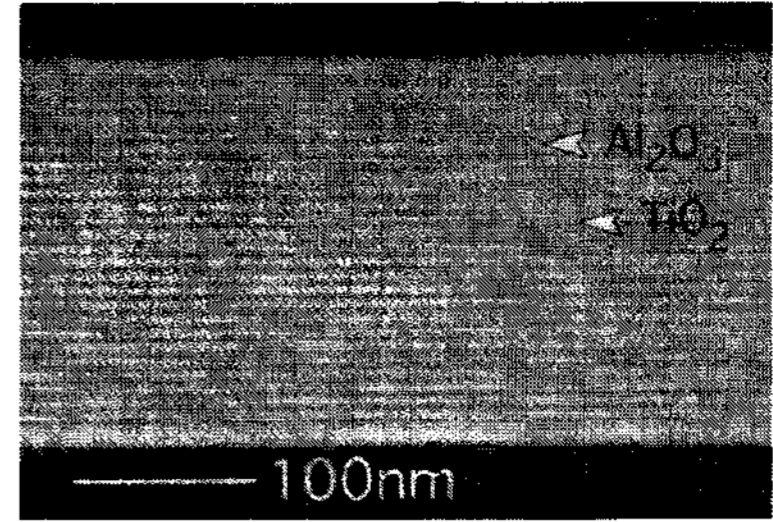


[그림 3] 투명 EL display의 구조

EL 연구 개발 후, 1970년대 유전체 층 구조, 고효율 형광체 등의 개발에 의하여 디스플레이 소자로서의 충분한 밝기와 신뢰성을 얻을 수 있게 되었다. 적층구조를 이루고 있는 층들이 모두 박막으로 형성되어 있기 때문에 박막EL이라고 통칭하고 있다. 같은 원리로, 분말 형광체를 유전체에 분산시킨 분산형 EL도 상용화되고 있다. 이들 분산형 EL도 구조면에서 보면 유전체 박막을 사용하고 있어 박막EL로 분류되고 있다. 분산형 EL은 [그림 2]의 (C)에 보는 바와 같이 핸드폰 용 평면광원 등에 사용되고 있다.

박막EL중 [그림 2]의 (b)와 같이, 투명광고 패널로 사용되는 덴소사에서 개발한 투명디스플레이의 내용을 살펴보면 다음과 같다. EL을 구성하는 박막층 전부를 투명한 박막으로 형성하여, 투명한 디스플레이로 제작한 것으로, 새로운 디자인의 개념을 추가하여 상품성을 높이고자 하였다. [그림 3]에 적층구조를 나타내었다.

위와 같이 상부 전극과 하부전극을 ITO 등과 같이 투명 전극으로 패터닝하여 형성하고, 상 하부의 절연막은  $Al_2O_3/TiO_2$ 를 ALD(Atomic Layer Deposition) 방법으로 적층하여 제작한다. 발광층은 ZnS : Mn을 스퍼터, E-beam 혹은 ALD 방법으로 형성시킨다. 상하의 전극으로부터 유전층에 약 250V 정도의 교류전압을 인가하면 유전층 내에 축적된 전하가 발광층중에 주입되면 전계에 의하여 가속된다. 가속된 전하가 발광층중의 Mn 원자와 충돌하면 여기 상태에 도달하게 되고, 그 후 여기된 Mn 원자가 기저상태로 안정화될때 빛이 발생하게 된다. 이때 높은 휘도를 얻기 위해서는 유전체막에 많은 전하가 축적되는 것이 필요하게 된다. 또한 이와 동시에 약 5MV/cm 이상의 높은 전계에 대하여 유전체막이 절연파괴 되지 않는 조건이 필요하게 된다. 한편 발광층이 외부 습기 등에 보호될 수 있도록, 균일하고 치밀한 막의 성질이 요구된다. 이러한 유전체의 우수한 막질과



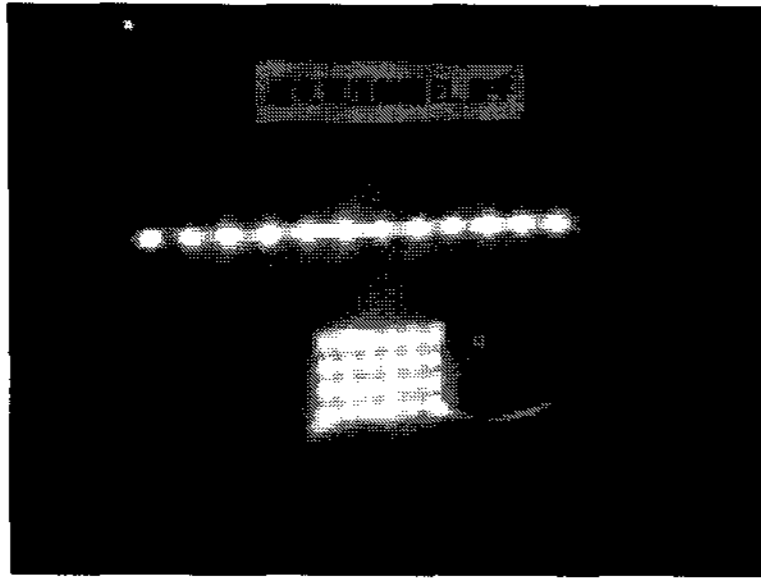
[그림 4] ALD로 제작된 다층 박막 유전체 구조

무 결함 요구특성에 대응하기 위하여 투명디스플레이에는 ALD 공정을 채택하여 비교 높은 유전율을 가진  $Al_2O_3/TiO_2$ 의 다층막을 시도하였다. [그림 4]에 ALD로 형성된 다층 박막의 단면사진을 나타내었다.

사진상에 나타난 다층박막의 흰색 부분이  $Al_2O_3$ 이고 검은색으로 나타난 부분이  $TiO_2$ 이다. 각층의 두께는 5nm/2.5 nm 수준의 나노 스케일의 박막으로 이루어져 있다. 위의 박막은 절연파괴 전압이 단일막에 비하여 매우 높으며, 적층구조에 의하여 핀홀 등의 결함 밀도도 효과적으로 감소하게 된다. 또한 원리적으로 박막두께 제어가 우수한 특징을 가지고 있다. ALD에 의한 박막형성은 1974년 Tumo suntola 등이 제안한 이후, 많은 연구가 진행되어 왔다. ALD는 넓은 의미에서 CVD(chemical vapor deposition)의 개념으로, 2종 이상의 원료개스를 공급하여, 기판의 표면에서 흡착 또는 화학반응을 통해 1원자층 혹은 1분자층씩 박막을 형성하는 방법이다. ALD의 특징을 정리하여 보면 다음과 같은 특징을 가지고 있다. 1) 막두께의 제어가 원자레벨로 가능하다. ALD에 의한 막두께의 제어는 단순히 Deposition사이클을 조절함에 의해서 분자층 레벨로 제어할 수 있게 된다. 2) 막의 균일성이 우수하다. 3) 원료 개스의 전환에 의해 다른 종류의 적층박막 형성이 용이하다. 기술한 바와 같이 기판상에 원자층 레벨로 성장시킬 수 있는 장점을 가진 ALD 공법은 결함이 적은 고품질의 박막을 얻을 수 있다. 최근에는 이러한 극 박막 형성의 장점을 살려 반도체 LSI의 게이트 산화막등에 적용하는 연구도 활발히 진행되고 있다.

박막 EL 분야에서, 또 다른 흥미로운 연구보고는 오사카 대학의 성과로서, 소토야마 등이 발표한 ZnS계의 박막을 나노 스케일로 적층한 박형 EL이다. 발표내용은 다원 스퍼터를 이용하여  $Si_3N_4$ 와 ZnS층을 2nm 이하로 반복하여 적층하여 60nm 수준의 박막을 제작하였다. 이때 동작전압은 기존의 전압보다 매우 낮은 12~20V로 가능하다고 발표하였다. Mn이나 Tb을 Dopant로 첨가하여 각각 적색, 녹색의 발광 효과를 얻는데 성공하였다. 또 다른 주목을 받고있는, 최근 박막EL의 보고는 치타니 산업에서 발표한 무기EL 백라이트이다. 그들의 보고에 의하면 휘도 수명은 35만cd/m<sup>2</sup>에서 2만5천~3만시간, 발광효율 15lm/W를 5V 이하의 구동전압에서 달성하였다. [그림 5]에 FPD 전시회에서 발표된 디바이스의 사진을 나타내었다.

소자의 구체적인 내용은 아직 발표되지 않았으나, 크기 2mm×2mm로서 발광층으로는 ZnS계를 베이스로 한 것으

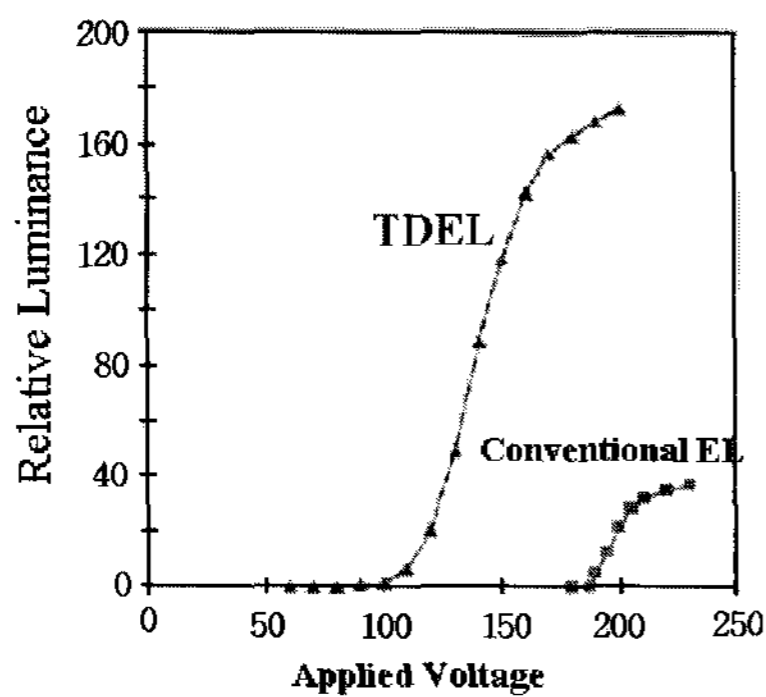


[그림 5] 고휘도 장수명 무기EL 백라이트

로 발표되었다. 위의 소자를 채택하여 Edge light 방식으로 백라이트를 구성하여 휘도 6,500cd/m<sup>2</sup>, 소비전력 100mA의 면 발광 소자를 개발하였다. 현재는 박막증착방식으로 제작되고 있으나, 향후 인쇄 방식에 의한 개발을 계획하고 있다고 알려져 있다.

## 2. 후막 EL

후막 EL(Thick film Dielectric EL)은 유전체층으로 후막을 사용한 것을 통칭한다. 대략 두께는 20um 이하로 사용되고 있으며, 페이스트 상으로 조절된 재료를 이용하여, 스크린 프린팅 혹은 코팅방법을 이용하여 기판상에 후막을 형성하고, 고온으로 소성하게 된다. 후막재료를 사용하게 되면 대기 분위기에서 공정을 진행할 수 있게 되는 장점이 있고, 그 때문에 원리적으로 30인치 이상의 대형패널을 저 공정 단가로 제조할 수 있게 되는 장점이 있다. 또한 박막EL보다 수배 이상의 밝은 휘도를 얻을 수 있기 때문에 발광재료의 선택의 폭이 넓어져 Full color display의 적용에 높은 가능성을 보여주는 것으로 알려져 있다. 후막EL의 연구개발은 아이피아이 사를 중심으로 활발하게 진행되고 있다. [그림 6]에 그들이 발표한 일반적인 박막EL에 비하여 후막EL이 갖는 발광전압과 휘도 특성을 나타내었다. 전압을 서서히 높여 가면, 임계전압에서 발광이 시작되어 급격하게 포화가 일어나는 특징을 가지고 있다. 또한 후막EL에서는 전압과 휘도가 비례하는 범위가 박막EL보다 크고 휘도의 포화레벨도 높아지게 된다. 이런 이유로 후막EL은 Grey 레벨의 표시를 가능하게 하며, 또한 밝은 휘도를 얻을 수 있게

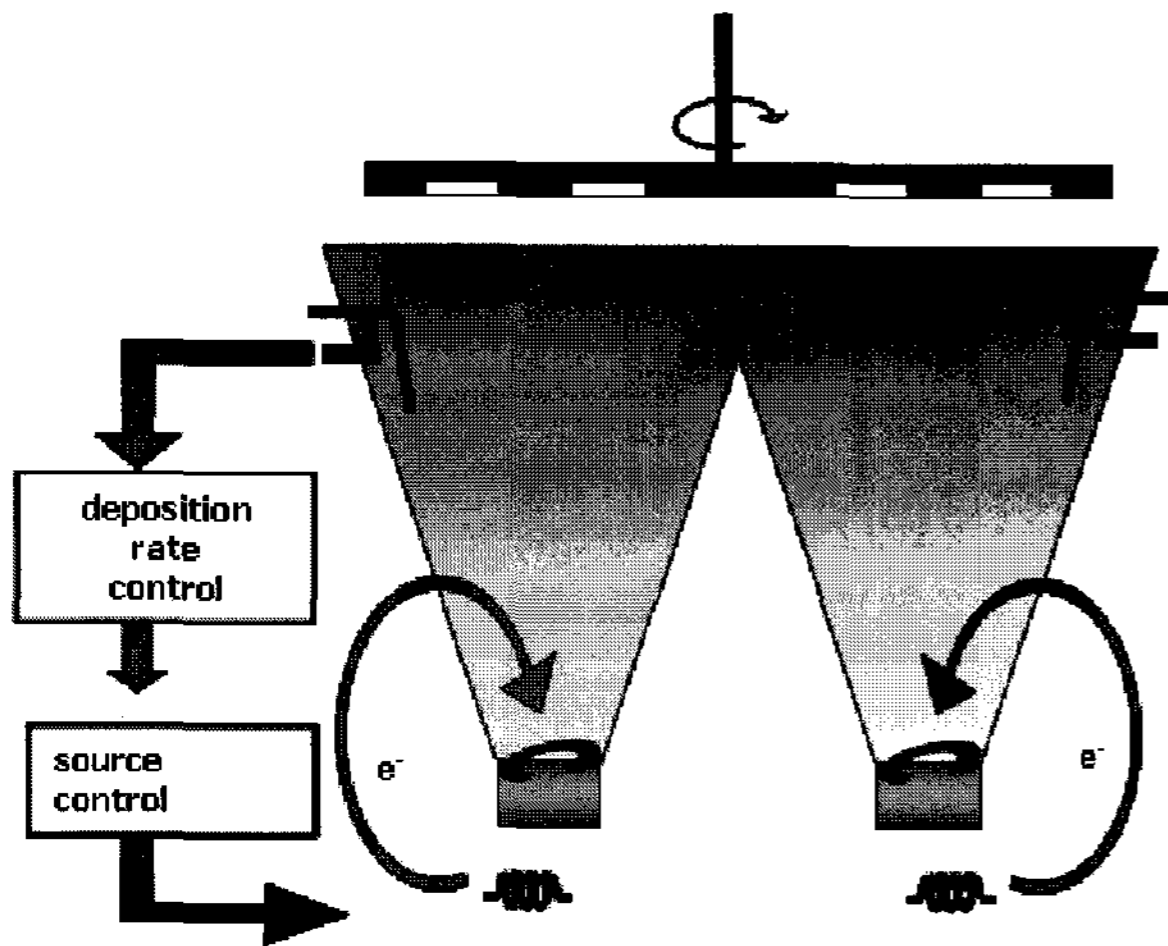


[그림 6] 후막 EL 발광전압 및 휘도 특성

된다.

후막EL의 공정은 통상적으로 기판위의 전극과 유전체 층을 스크린 프린팅 등에 의해 후막재료로 형성한다. 전체적인 공정단계는 고온에서의 소성을 필요로 하는 후막 공정을 전반에 진행을 하게 되고, 진공 증착 공정을 필요로 하게 되는 형광체 및 박막 유전체 공정을 후반에 형성시킨다. 모든 층을 박막으로 형성하는 박막EL의 공정이나 LCD의 제조 공정에 비하여 제조설비의 규모가 작아지게 되며, 절연 파괴에도 강해 공정 단가가 감소하게 된다. 패널의 구조도 매우 간단하여 상하 전극이 Stripe 형태의 단순 매트릭스 구조를 하고 있으며, 전극 사이에 유전체, 형광체 막을 전면 증착방식으로 형성하고 있다. 큰 사이즈의 패널에서는 상부 투명전극으로 사용하고 있는 ITO 등의 전기전도도를 보상하기 위하여, 금속전극을 얇게 패터닝하여 버스 전극으로 사용하기도 한다. 마지막으로 주위의 습기 등의 분위기로부터 보호하기 위하여 커버 글래스를 사용하여 패널을 봉착하게 된다. 커버글래스에는 색 보정, 콘트라스트 향상을 위한 컬러필터를 형성하기도 한다. 무기EL의 성능을 결정하는 중요한 요소인 형광체에 대하여 살펴보면 다음과 같다. 개발 초기부터 사용되고 있는 널리 알려진 재료로는 ZnS:Mn을 들 수 있다. 이 재료는 현재 상업적으로도 널리 활용되고 있으며, 매우 밝은 Yellow 휘도를 얻을 수 있다. 따라서 Mono 컬러의 디스플레이에 사용되고 있고, 적색 및 녹색 컬러필터와 함께 적층시켜 Multi color 디스플레이로도 사용되기도 한다. 녹색 및 청색의 형광체에 대해서도 오랜 기간 연구가 진행되어 왔는데, 가장 특성이 우수하다고 알려진 재료로는 ZnS:Tb, CaAl<sub>2</sub>S<sub>4</sub>:Eu 등의 녹색 발광재료와, SrS:Ce, BaAl<sub>2</sub>S<sub>4</sub>:Eu 등의 청색 발광재료가 있다. 특히 청색 형광체인 BaAl<sub>2</sub>S<sub>4</sub>:Eu은 메이저 대학에서 최근 개발된 재료로서, 높은 휘도와 우수한 색순도로 Full color 디스플레이용 발광층으로 충분한 특성을 갖추고 있다. 그들이 발표한 바에 의하면, 50Hz의 펄스파 구동에서 최고 휘도 150cd/m<sup>2</sup>과 CIE 색좌표 (0.12, 0.10)으로, 컬러필터를 이용하지 않고도 디스플레이용 청색 발광체로 충분한 특성을 가지고 있다. 위와 같은 형광체 재료는 박막 공정을 사용하여 형성시키게 되는데, 조성을 이루고 있는 재료가 증기압이 다른 여러 종류의 원소로 이루어져 있어, 조성제어가 어려우며 양질의 박막을 얻기가 어렵다. 이러한 점을 극복하기 위하여, 메이저 대학 및 아이피아이사에서 제안되어, 사용하고 있는 2원 펄스 전자빔 증착법에 대하여 [그림 7]에 개략도를 나타내었다.

증착 공정은 증기압이 다른 원소로 구성된 박막을 얻는 방법으로서, 우선 기판에 구성원소를 서로 다른 시간비율의 펄스에 의해 증착시켜 결정성을 성장시키게 된다. 그 후 결정성의 개선을 위한 열처리 등을 통하여 원하는 조성과 결정성을 가진 형광체 박막을 형성한다. BaAl<sub>2</sub>S<sub>4</sub>:Eu의 박막의 경우, BaS:Eu과 Al<sub>2</sub>S<sub>3</sub>의 타겟을 그림과 같은 서로 다른 source에서 펄스를 10mS 수준으로 조절하여 증착시켜 최적의 형광체 막을 형성시키게 된다. 결정성을 얻기 위하여 사용하는 열처리는 700~800도 정도로 알려져 있으며, 유리 기판의 경우에는 순간적인 고온 열처리(RTA)와 레이저 어



[그림 7] 2원 펄스 빔 E-beam 증착

닐링을 사용하기도 한다.

위에 기술한 바와 같이 청색 발광재료의 비약적인 발전에 의해 full color 디스플레이의 소자화로의 개발이 가속화 되고 있다. 최근에 아이파이어사에서 발표한 CBB(Color By Blue) 방식은 OLED 혹은 LED 소자에서도 응용되는 방식으로서, 에너지가 높은 청색발광으로부터 녹색, 적색 변환재료를 통하여 Down-conversion에 의한 삼원색 발광을 얻고 있다. 즉 청색의 단색 패널을 제작하고, 녹색의 발광셀에 해당하는 부분에는 청-녹 색변환 재료를, 적색의 발광셀에 해당하는 부분에는 청-적의 색변환 재료를 도포하고 있다. 색 변환재료로는 유기 혹은 무기 형광안료를 사용하게 된다. 이러한 방식은 제조비용 및 공정면에서 유리하게 되고, 청색의 전기특성만을 제어하여, 화소내의 휘도분포를 조절하게 된다. 또한 EL용 형광체는 에칭등으로 패터닝하기가 어려운 경우가 많이 있는데, CBB 방식에서는 형광체 안료를 스크린프린팅 혹은 스펀코팅으로 도포하는 것으로 컬러화공정을 설계할 수 있다. 즉 녹색과 적색의 발광층을 진공공정으로 부터 후막공정으로 전환할 수 있게 되어 제조 비용 절감과 공정의 단순성을 달성할 수 있게 된다.

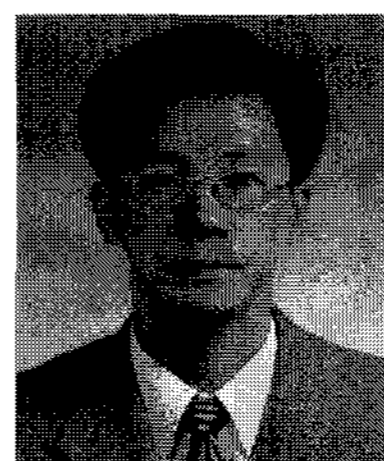
### III. 무기EL의 향후 전개

박막EL, TDEL의 응용분야는 그 신뢰성, 시인성의 장점을 활용하여, 광고용, 각종 계기용 백라이트, 의료기기 뿐 만 아니라, 더 나아가 TV로의 응용이 기대되고 있다. EL기술의 전개는, 70년 이상의 오랜 세월 동안 많은 연구자들의 노력에 의하여 이루어졌으며, 최근 비로서 풀 컬러 디스플레이 패널까지 완성되었다. 특히 근래 10여 년간의 발전 속도는 재료와 박막 공정 기술의 발달에 따라서 한층 가속화 되고 있다. 최근에는 얇고 가벼우며, 완전한 Solid state display를 요구하는 시장동향에 부합하는 가능성 있는 디스플레이로서 다시금 연구자들의 주목을 받고 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Koichi Wani, 電子材料, 4月, p.78, 2004.
- [2] Yamauchi. et al., 工業材料, Vol.52, No.3, p.45.
- [3] N. Miura, M. Kawanishi. et al., Jpn, J. Appl. Phys., Vol.38, p.1291.
- [4] X. Wu, IMID'05 Digiect technical papers, p.889.

#### 저 자 소 개



#### 이 성 의

서울대학교 금속공학과(공학사, 1988), 서울대학교 대학원 금속공학과(공학석사, 1990), 서울대학교 대학원 금속공학과 (공학박사, 1995), Neoplasma Japan inc. senior researcher(1996~1998), 현대전자 디스플레이 선행연구소 책임연구원 (1998~2000), iFire Technology Inc. Senior researcher(2000~2003), 삼성종합기술원 재료소자 연구소 전문연구원(2003~2005), 한국산업기술대학교 신소재공학과 교수(2005~현재).