

# Field Emission Display (FED) 기술 현황과 전망

□ 유지범·김종민

## 요 약

Field emission display(FED)의 동작원리와 특징 및 연구개발의 현황과 전망에 대하여 기술하였다. CRT에 가장 가까운 우수한 화질과 동작특성을 가지는 평판표시소자인 FED의 상용화를 위해 필요한 기술을 요소기술별로 나누어 정리하였다. 전자방출원 어레이 기술, 형광체기술, 패키징 기술에 대하여 조사하였으며, FED 상용화를 위한 세계 유수 회사의 연구동향을 정리하였고, 대면적 FED 개발 전망에 대하여 논의하였다.

## I. 서 론

Field Emission Display(FED)는 전계에 의해 물질 표면에서 방출된 전자가 가속되어 형광체를 여기시켜 빛을 발하는 cathodeluminescence(CL)에 의해 작동하

기 때문에 CRT(cathode ray tube)에 가장 가까운 특성을 가진다. 또한 FED는 CRT의 문제점인 대면적화에 따른 부피와 무게의 급격한 증가를 해결할 수 있는 평판표시소자이다. 따라서 FED는 응답속도가 빨라서(수  $\mu$  sec) 완벽한 동영상 구현 할 수 있으며, 자연색에 가까운 색상을 재현 할 수 있고, 소비전력이 낮으며, 시야각이 크고, 사용 온도범위가 넓다( $-45\sim 85^{\circ}\text{C}$ )는 장점을 가진다. 그림 1에 FED를 CRT와 비교한 도식적 사진을 제시하였다".

전계방출과 이를 이용한 CRT에 관한 이론과 연구개발은 100여년의 오랜 역사를 갖지만 FED 연구개발이 시작 된 것은 1968년 SRI의 Spindt 박사에 의해 FED의 개념이 제안되고, 1976년 저전압 냉음극(cold cathode)어레이의 제작이 보고된 이후부터이다<sup>12,13</sup>. FED에 대한 본격적인 연구는 1980년대 후반 프랑스의 LETI사가 마이크로팁과 형광체에 관한 진보된 기술과 행렬 구동하는 평판디스플레이를 개발한 이후 시작되었

다". 이후에 전세계적으로 연구개발이 진행되어 1993년 Pixtech사가 칼라 FED 패널을 시연하고 1996년 FED 엔지니어링 샘플을 생산 판매하였으며, Motorola사는 5" 생산을 위한 제작시설의 투자 등 활발히 진행하였고, 2001년 미국의 Candescent사는 12"칼라 FED를 시연하였으며<sup>65)</sup>, 삼성 종합기술원과 SDI에서는 새로운 물질인 탄소나노튜브 전계방출원을 이용한 5"칼라 FED를 발표하였다<sup>66)</sup>. 현재 전세계적으로 10여개의 업체들이 대화면 TV 응용을 위한 FED의 상용화를 위하여 개발을 수행하고 있다.

FED의 요소기술은 전자방출원인 음극형성기술, 형광체기술, 패키징기술, 구동회로기술로 대별될 수 있다. 전자방출원으로는 Mo, diamod와 같은 전자방출 특성과 물리적, 화학적 특성이 우수한 물질이 사용되어 왔으며 최근에는 탄소나노튜브를 전계방출원으로 사용하려는 연구가 진행 중이다. FED용 형광체로 저전압 형광체 개발이 주를 이루고 있으며, 패키징 기술은 진공패키징 기술을 중심으로 spacer기술, sealing기술 및 getter기술이 연구되고 있다. FED의 상용화를 위해서는 상기한 분야별 기술의 개발과 확보가 절대적으로 필요하며, 이를 통하여 최근 급속히 발전한 TFT-LCD, PDP, EL등의 평판표시소자기술에 비하여 기술적으

로, 경제적으로 우위를 확보하여야만 할 것이다. 본 고에서는 FED의 동작원리와 특징 및 FED 개발의 요소 기술인 전자방출원 어레이 기술, 형광체기술, 패키징 기술의 현황과 전망에 대하여 정리하였고, FED 상용화를 위한 각 회사의 연구동향을 정리하였으며, 대면적 FED 개발 전망에 대하여 논의하였다

## II. FED의 동작 원리

그림 2에 FED의 구조도를 나타내었다. 스페이서(spacer)에 의해 유지되는 0.5~1.1mm 정도의 작은 진공 갭을 가운데 두고 위쪽은 형광체로 도포된 양극(anode)기판이며, 아래쪽은 전자방출원인 음극(cathode)과 게이트로 구성되는 음극판(cathode plate)이다. 음극판에는 행전극(row electrode)과 열전극(column electrode)이 있어 행렬구동되어 게이트에 전압이 인가되는 동안 음극으로부터 전자가 방출되고, 양극에 의해 가속되어 형광체 화점(pixel dot)를 때려 발광을 하게된다. 한 화소(pixel)에 R(red), G(green), B(blue) 형광체 화점을 함께 사용함으로써 칼라 디스플레이가 가능하게 된다. 그림 2는 하나의 화

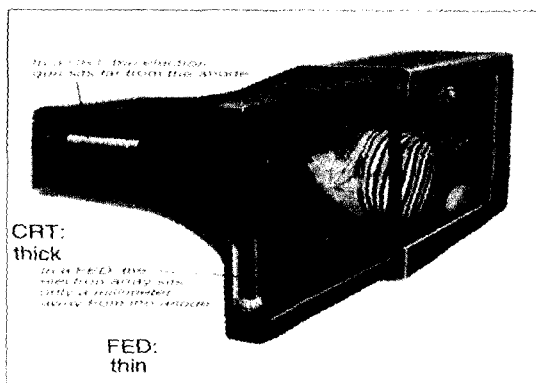


그림 1. CRT와 FED의 비교<sup>67)</sup>

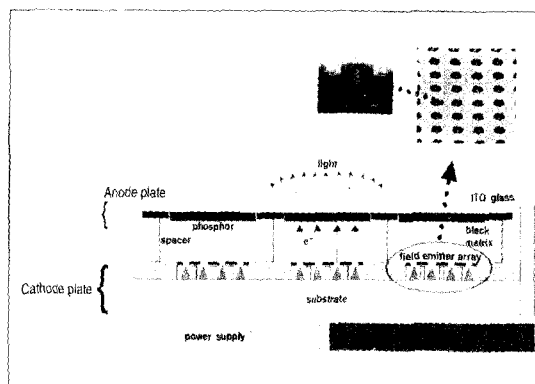


그림 2. FED 구조도와 제작된 FEA의 SEM 사진

소를 도식적으로 나타낸 것이며, 하나의 화소에는 FEA(field emission array)가 존재한다. 제작된 FEA와 이를 구성하는 전자방출원 하나의 주사전자현미경사진(SEM:scanning electron microscopy)을 그림 2에 함께 나타내었다.

### III. 요소기술별 연구현황

#### 1. 전자방출원

FED의 이상적인 전자방출원으로 사용되기 위하여 요구되는 조건을 정리하면 다음과 같다<sup>19)</sup>. (1) 안정적으로 재현성 있는 고밀도의 전류를 장시간(수만 시간) 방출할 수 있어야 하며, (2) 방출전류가 범용 IC로부터 얻을 수 있는 전압의 범위에서 조절 되어야 하고, (3) 방출되는 전자의 에너지분포가 일반적인 열전자 음극의 에너지 분포(0.5eV)와 비슷하여야 하며, (4) 신뢰성이 확보되어야 한다. 즉 전자방출원이 이온과의 충돌(ion bombardment)에 따른 역 스퍼터링, 잔류가스와의 반응, 과열에 의한 열화, 극한온도 변화, 아크방전(방출원과 게이트간) 등에 대하여 내구성을 가져야 하고, (5) 제조 공정원가가 비싸지 않고, 제작공정이 용이하여야

한다. 이와 같은 특성을 갖는 전자방출원을 개발하기 위한 연구개발이 많이 수행되어 왔는데 형태적으로 크게 팁형(Spindt형)과 평면형으로 나뉘어질 수 있다. 팁형으로는 실리콘과 금속 팁이 있으며 최근 크게 각광을 받고 있는 탄소나노튜브를 이용한 전자방출원이 팁형에 속하며 그림2의 SEM 사진이 팁형의 대표적인 모습을 나타내었다. 평면형에는 다이아몬드, 다이아몬드 상 카본, SCE(surface conduction emitter), BSD(ballistic electron surface-emitting display) 등이 있다. 그림 3에 SCE(surface conduction emitter) 음극의 구조를 개략적으로 나타내었다.

팁형 전자방출원의 경우 표준 제조공정이 확립되어 있는 상태이다. 팁형 전자방출원의 경우 전자분포의 균일성, 방출 전류의 증가 및 구동전압의 감소를 위하여 전자방출원의 크기(게이트 홀(hole))과 간격을 작게 하려는 연구와 팁의 구조를 개선하여 전계강화인자(field enhancement factor)를 증가시키려는 연구 및 팁의 재료선택과 개발을 통하여 표면 일함수(work function)을 감소시키려는 연구가 수행되었다. 현재 Mo를 사용하여 팁간 간격을 0.3 $\mu$ m 이하, 게이트 홀 크기를 0.2 $\mu$ m 이하로 팁을 제작하는 기술이 개발되어 구동전압이 25V 이하 인 FED를 만들었다는 보고가 이루어지고 있다. 또한 Mo팁에 세슘을 코팅하여 구동전압을 크게 감소시켰

다는 연구결과가 SRI를 중심으로 여러 연구기관에 의해 보고되고 있다<sup>20)</sup>. 세슘 이외에 다양한 물질을 코팅하여 구동전압 이외에 팁의 내구성 향상을 이루었다는 보고가 있다. 팁형 전자방출원의 가장 큰 문제로 지적된 신뢰성 문제가 게이트 홀의 크기를 작게하거나, 게이트 절연막의 특성 향상을 통하여 10,000시간 이상으로 증가시켰다는 보고가 있다<sup>21)</sup>. 최근 크게 각광을 받는 탄소나노튜브의 구조적, 물질적 특성을 이용하여 우수한 특성을 갖는 전자방출원을 제작

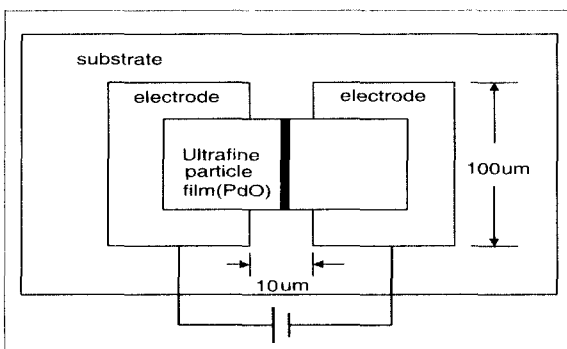


그림 3. SCE(surface conduction emitter) 음극의 구조를 개략도

하려는 연구개발이 삼성SDI, 삼성종합기술원, NEC 등을 중심으로 진행되고 있다. 분야별 자세한 연구 현황이 다음장에서 다루어 질 것이다. 팁과 양극간의 거리가 1mm 이상되는 경우 전자빔의 퍼짐 현상이 발생하는 것을 막기 위하여 초점조절용 전극을 활용하는 방안도 제안 연구되고 있다. 평면형 전자방출위의 경우 평면박막과 포토마스크 작업이나 다른 방법을 이용하여 간단히 제작할 수 있다는 장점과 탄소계열의 박막인 경우 일함수가 낮고, 물리, 화학적으로 안정하고 열전도 특성이 좋다는 장점을 가진다. 그러나, 전자방출영역이 정확히 규정되지 않으며, 3극 구조를 만들기가 용이하지 않다는 단점을 가진다<sup>10)</sup>. 그림 3에서 보여지는 바와 같이 전극 위에 초미세 입자박막을 입히고 초입자박막 사이에 마이크로 이하의 작은 크기의 갭(fault line)을 만들어 이로부터 발생하는 터널링을 일으키고, 양극에 전압을 가하여 방출된 전자를 가속하여 발광하도록 하는 것이다. 현재 Cannon-Toshiba에서 이 방식을 이용하여 대면적 FED 개발을 진행하고 있다.

2. 형광체 기술

FED는 수 kV의 저전압에서 작동하기 때문에 수십 kV이상의 고전압에서 동작하는 CRT용으로 개발된 기존의 형광체를 그대로 사용할 경우 많은 문제가 있다.

즉, 작동전압의 저하에 따른 기존의 황화물계 형광체의 발광효율 감소, 고진공 하에서 분말의 분해로 발생하는 유해가스로 인한 마이크로 팁의 손상 등의 문제가 발생한다. 이에 따라 FED용 형광체의 개발은 기존의 황화물계 형광체를 표면처리에 의하여 안정화 시켜 사용하거나 안정성과 발광 특성이 좋은 새로운 산화물계 형광체를 개

발하는 방향으로 진행되고 있다. 본 장에서는 황화물계와 산화물계 형광체에 대한 최근 연구동향과 저전압용 형광체 분말제조공정에 대하여 간단히 알아보도록 한다. 표 1에 FED용 저전압 형광물질의 RGB 조합 및 특성에 대하여 요약하였다<sup>11)</sup>.

황화물계 형광체의 장점인 높은 발광 효율을 활용하기 위하여 기존의 ZnS 계통의 형광체에  $In_2O_3$ 나  $SnO_2$ 와 같은 전도성 산화막을 줄-겔법과 같은 액상법을 이용하여 코팅하여 형광체의 발광효율 및 안정성을 향상시키려는 연구가 진행되어졌다<sup>12)13)</sup>. 전도성산화막 이외에  $Y_2O_3$ ,  $SiO_2$  등의 박막을 코팅하여 특성 향상을 얻은 결과도 보고된다<sup>14) 15)</sup>. 산화물계 형광체는 안정성에서는 우수하나 발광효율이 낮다는 문제점을 갖는다. 발광효율의 향상을 위해서는 산화물계 형광체에 다른 금속물질(Li, Al, Zn)을 도핑하거나, 새로운 제조 방법을 이용하여 나노입자크기의 구형 형광체 개발과 새로운 조성의 형광체 개발( $Sr_3(PO_4)_2Cl:Eu$ ,  $(Zn,Cd)_2Ga_2O_4$ ,  $Zn(Ga_{1-x}In_x)O_4$ ,  $Sr_3MgSi_2O_8:Eu$ ,  $CaMgSi_2O_6:Eu$ ,  $YNbO_6:Bi$ )이 주요 연구방향으로 진행되고 있다<sup>16) 17)</sup>.

전술한 바와 같이 FED는 저전압에서 동작하므로 형광체의 여가를 위한 전자빔의 에너지가 작기 때문에 형광체로의 침투 깊이가 작으므로, 형광체 표면의 특성,

표 1. FED용 저전압 형광물질의 RGB 조합 및 특성

	Compositions	Characteristics
Sulfides	Red: $Y_2O_3:Eu$	1. High luminous efficiency
	Green: $Cd_2O_3:Sr, SrGa_2S_4:Eu$	2. Non-linear current dependence
	Blue: $ZnS:Cu, Al$	3. Low contrast
Oxides 1	Blue: $ZnS:Ag, Cl$	4. Cathode poisoning
	Red: $Cd_2O_3:Eu$	1. Low luminous efficiency
	Green: $Y_2Al_2O_7:Tb$	2. High current linearity
Oxides 2	Blue: $Y_2SiO_5:Ce$	3. High contrast
		4. Bad chromaticity of green
	Red: $Y_2O_3:Eu$	1. Low luminous efficiency
	Green: $Y_2SiO_5:Tb$	2. High current linearity
	Blue: $Y_2SiO_5:Ce$	3. High contrast
		4. Good chromaticity of green

입자의 크기 분포, 형태와 같은 형광체의 특성이 매우 중요하다. 형광체 표면에서의 비발광 재결합을 최소화할 경우, 단위 부피당 표면적이 넓을수록 발광효율의 증대를 이룰 수 있으므로, 나노크기의 구형 형광체 물질의 제조에 관하여 많은 연구가 진행되고 있다. 이에 관한 방법으로 고상법, 액상법, 기상법이 있는데 고상법의 경우 제조과정 중 포함되는 분쇄과정에서 발생하는 형광체 표면의 손상과 불순물의 혼입의 문제가 있으며 나노크기의 구현에 어려움이 있다. 액상법은 도핑물질을 포함하는 다양한 원료물질을 액체상태로 제조한 후 다양한 원리를 이용하여 고상으로 만드는 방식으로 낮은 온도에서 순도가 높은 형광체 분말의 제조가 가능하므로 발광효율이 우수한 형광체의 제조가 가능하다. 그러나 분말의 크기 및 형태조절에 어려움이 있다<sup>18, 20</sup>. 액상법은 나노 크기의 제조가 가능하기 때문에 나노 형광체 연구에서 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 액상분말 제조법으로는 공침법, 다단 침전법, 마이크로 에멀전법, 착제중합법, 솔-젤법, 수열합성법 등이 있다.

기상법은 구형의 황화물계, 산화물계 및 질화물계 형광체의 제조가 가능하며 입자의 크기를 나노크기로 조절할 수 있고, 대량생산을 위한 scale-up에 유리하다는 장점을 갖는다. 기상법에는 기화와 응축공정에 의해 분말을 제조하는 기상응축법과 용액을 미세한 액적으로 분무시켜 분말을 제조하는 분무열분해법, 액적을 2000℃ 이상의 화염내부로 보내어서 건조, 열분해와 분말의 용융 및 결정화에 의해 치밀하며 완벽한 구형을 갖는 형광체 분말을 제조하는 화염분무열분해법이 있다. 기상응축법에서는 100나노 이하의 균일한 분포를 갖는 미세입자의 제조가 가능하나 각각의 원료분말들의 기화 특성이나 응축특성이 서로 다르기 때문에 다성분계 분말의 제조에는 적합하지 않다. 분무열분해법은 원료물질을 알콜이나 증류수와 같은 용매에 녹여 분무 용액을 제조하고 이를 액적 발생장치를 이용하여 미세

한 액적으로 분무시켜 고온의 전기로 내부에서 건조, 열분해, 결정화과정을 거쳐 하나의 분말을 만드는 방식으로 용액상태에서 구성물질들을 분자수준으로 혼합할 수 있기 때문에 다성분계 형광체 분말의 제조가 용이하다. 액적의 발생을 위하여 초음파를 사용하는 초음파분무 열분해법이 개발되어 pilot plant가 현재 국내에서는 한국화학연구원 에 설치 가동 중이다. 초음파를 이용하는 방식에서는 액적의 크기가 5 $\mu\text{m}$  정도로 0.5~3 $\mu\text{m}$ 의 형광체 분말을 제조할 수 있지만 그 이하로 입자 크기를 제어하는데는 어려움이 있다. 화염분무열분해법은 분무열분해 공정에 고온의 화염반응기를 결합하여, 분무열분해에서 얻어지는 형광체가 갖는 다공성에 의한 특성의 저하를 해결하고, 후 열처리 공정을 분말 합성 공정 중에 수행함으로써 공정을 간단히 하는 장점을 갖는다<sup>21, 22</sup>. 이 방식은 광섬유 모재 제작을 위한 silica soot 제조공정과 매우 유사하므로, 기 개발된 기술을 활용할 수 있으며, 공정변수의 제어를 통하여 나노크기의 형광체 제조가 가능하며, scale-up이 매우 용이하다는 특성을 갖는다. 이 방식을 이용하여 제조된 SrTiO<sub>3</sub>:Pr, Al, (YGd)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu 형광체가 우수한 특성을 나타냄이 보고되었다<sup>23</sup>.

FED용 저전압 형광체는 새로운 산화물계 형광체 개발이나 기존의 황화물계 형광체의 특성 향상을 위한 방향으로 연구가 진행되고 있으며, 나노크기의 구형을 갖는 형광체의 제조방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 새로운 형광체의 개발에 있어서는 컴퓨터의 급속한 발전으로 양자역학, 분자 동역학, 통계역학 등 기초이론을 이용한 재료설계를 활용한 새로운 방식으로 이루어지고 있다.

### 3. 패키징 기술

FED의 상용화를 위하여 패키징 기술이 차지하는 중

요청은 매우 크다. FED의 진공패키징기술은 패널의 진공압력을 견디고 전기적으로 안정성을 가지는 스페이서 기술, 패널 내부를 진공의 누수 없이 외부와 완전히 격리시키기 위한 sealing기술, 패널 내부를 진공으로 만들기 위한 배기기술, 진공의 패널을 장시간 동안 고진공으로 유지시키기 위한 getter기술로 나뉘어 질 수 있다. 본 절에서는 이들 기술에 대하여 최근 연구동향과 전망을 조사하였다.

스페이서가 가져야할 조건은 다음과 같다. (1) 상·하의 음극판과 양극판의 진공 갭을 유지하기 위하여 기계강도를 충분히 가져야 하며, (2) 광학적으로 invisible하고 형광체나 전자방출원을 침범하지 말아야 하며, (3) 전자방출원으로부터 방출된 전자빔과 스페이서의 충돌시 발생하는 2차전자가 최대한 억제되어야 하며, (4) 고진공에서 사용이 가능한 재료이어야 하며, (5) 스페이서 주변에 쌓인 전하를 적절한 경로를 통하여 제거할 수 있도록 하여야 한다. 현재 유리frit, 폴리이미드, 감광성 유리, 세라믹 구조물, 광섬유등이 스페이서 재료로 사용되고 있으며, 형태로는 cross형, rib형, 원기둥형 등의 다양한 모양이 있다. Rib형은 길이방향으로 bending된다는 문제점과 대면적용으로는 부적합하다는 단점을 갖는다. 대면적 FED용으로는 cross형과 원기둥형이 적합하다고 보고된다. 그러나 원기둥형보다는 cross형이 더 유리하다고 보고된다. Cross형의 경우에 제작기술에 있어 어려운 점이 지적되는데 특히, 고해상도의 구현을 위해서는 정밀한 스페이서 가공기술이 개발되어야한다. 2차전자의 방출 억제를 위해서는 2차전자 방출계수가 1인 물질로 스페이서를 코팅하는 연구가 진행되고 있으며, 스페이서에 축적된 전자의 제거를 위해서는 전기적 연결통로를 적절히 만들어 arcing이나 전자빔의 궤적에 방해가 되지 않도록 하여야한다. 이와 같이 스페이서 개발 시에는 재료나 모양의 설계뿐만 아니라 상·하판의 소자의 구조 설계까지

를 고려하여야한다.

FED sealing 기술은 CRT가 채택하고 있는 전통적인 tube배기 방식을 이용하여 왔다. 그러나 긴 공정 시간과 sealing시 상·하판의 misalign, 그리고 튜브의 길이에 의해 패널의 두께가 두꺼워지는 상품성의 문제점이 있다. 특히 sealing 공정의 고온처리 과정에서 에미터의 산화문제가 심각히 대두되어 불활성 가스분위기를 사용하는 방법이 이용되어왔다. sealing 공정에서는 합착/소결이 완료된 패널을 진공펌프에 물려 펌핑을 하면서 패널 내부의 불순물을 제거하기 위하여 패널을 250~350℃로 가열한다. 이러한 공정을 통하여 H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>와 같은 outgassing원들이 제거된다. 패키징 공정 시간의 감소와 신뢰성 향상을 위한 방안으로 최근에는 진공에서 패키징을 하는 방법이 연구되고 있다. 진공 sealing은 열원에 따라 레이저 sealing, thermal sealing으로 나뉘며, 공정방식에 따라 direct sealing, 진공 align sealing, end-cap sealing으로 나뉘게 된다.

레이저 sealing은 레이저를 이용하여 frit부위를 국부적으로 가열하여 sealing하는 방법이다. 레이저 sealing은 소결공정과 배기/가열공정을 동시에 진행하므로 공정시간을 크게 줄일 수 있으며, frit만을 국부적으로 가열하기 때문에 에미터의 손상을 방지할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 레이저 sealing은 최종 sealing공정을 직접 제어하여야하므로 에너지 전달 및 용해 응고의 과정에 대한 mechanism을 잘 이해하여야만 하고, frit표면의 편평도와 높이 편차의 조절을 잘해야한다. 레이저 sealing은 thermal stress와 gap조절에 있어 문제점을 가지며, 이를 해결하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다. 대기 중 oven sealing공정을 그대로 진공 중에서 수행하려는 진공 oven sealing은 레이저 sealing이 갖는 thermal stress와 gap조절 문제를 해결할 수 있을 것으로 기대된다.

공정 방법에 따라 분류한 direct sealing법은 대기중

에서 align된 상·하판을 그대로 진공 중으로 이동하여 sealing하는 방법으로 별도의 align장치가 필요없다는 장점을 가진다. 그러나 패널의 배기가 상·하판 사이의 좁은 통로로만 이루어지므로 배기시간이 길어지게 되고, frit으로부터 방출되는 outgassing이 패널내부에 잡혀있기 때문에 초기진공을 고진공으로 확보하기가 어려운 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 상판과 하판을 일정한 간격만큼 띄운 상태로 진공으로 장입하여 sealing이 이루어지기 전까지 간격을 유지하다가, sealing이 이루어지는 온도에 도달한 순간에 진공 align하여 sealing하는 진공 align sealing이 제안되었다. 이 방법은 초기진공에는 유리하지만 align 장비문제와 sealing후 frit으로부터의 outgassing의 문제가 단점으로 지적된다. sealing공정이 완료된 이후 발생하는 outgassing을 미리 준비된 상판이나 하판의 hole을 통하여 배기하고 최종적으로 hole만 sealing하는 end-cap 방법이 가장 효율적인 진공 sealing의 방식이 될 것으로 전망된다. 다양한 진공 sealing이 연구개발 되고 있지만, 여러 방법에 관계없이 진공 sealing에 부합하는 frit 재료의 개발이 시급한 과제로 대두되고 있다.

FED는 동작 중에 다량의 가스가 발생될 수 있으므로 getter를 실장시킨 후 활성화시켜 화학적 흡착을 통하여 방출되는 가스를 제거한다. Getter의 실장 위치에 따라 진공도에 영향이 있으므로 이에 대한 고려가 필요한데 oven sealing의 경우 tube 속에 실장하는 것이 일반적이다. 활성화시 getter 증발로 인하여 에미터나 형광체 위로 확산이 일어날 수 있으므로 비 휘발성 getter를 사용하여야 한다. 또한 패널 내부의 공간적 제약으로 인하여 HPTF(high porosity thick film)형의 getter가 유리하다. 현재 SAE사에서 상용화된 FED용 getter가 많이 사용되고 있다. getter의 활성화를 위해서는 RF나 laser를 이용하고 있으며, 낮은  $10^{-7}$ Torr 정도의 초기 진공이 쉽게 얻어지고 있다.

#### IV. FED의 개발 현황 및 전망

현재 전세계적으로 10여개의 회사에서 각 회사별로 고유한 모델과 방식을 개발하여 FED 상용화를 위한 노력을 경주하고 있다. 본 절에서는 각 방식별로 대표적인 회사의 연구결과를 간략하게 정리하고자 한다.

삼성종합기술원과 삼성 SDI가 공동으로 탄소나노튜브를 전자방출원으로 사용하는 FED의 연구개발을 수행하고 있다. 탄소나노튜브는 전자방출 특성이 우수하며, 열적, 화학적으로 매우 안정하고 매우 큰 기계적 강도를 갖는 것으로 알려진 새로운 물질이다. 탄소나노튜브를 이용한 FED의 개발은 삼성 이외에 NEC, Ise등에서도 연구를 수행하고 있다. CNT-FED를 상품화하고 평판디스플레이 시장의 주류가 되도록 하기 위해서는 패널의 대면적화, 저가격화, 화질의 고품질화가 이루어져야 한다. 이에 따라 삼성에서는 스크린프린팅법을 이용하여 FED를 개발하고 있다.

삼성에서는 전기방전법으로 제조된 단일벽(single wall) 탄소나노튜브를 2~3 $\mu$ m의 길이로 분쇄하여 분말 형태로 만들고, 유리 frit을 섞어 기계적 혼합한 후, 나노튜브/frit 혼합체에 유기용제를 첨가하고, 삼단 롤밀로 잘 섞어 점도가 조절된 탄소나노튜브 페이스트를 제조하였다. 나노튜브 페이스트를 미리 준비된 CNT-FED 음극판의 정해진 위치에 스크린 인쇄한 후 건조를 거쳐 450~500 $^{\circ}$ C에서 열처리하여 페이스트에 함유된 유기용제를 제거하고 페이스트를 소성시켰다. 전자방출 특성 및 균일도 향상을 위하여 소성된 페이스트를 활성화 처리하였으며, 패널 패키징 후 전기적 에이징을 거쳐 CNT-FED 패널의 제작을 하였다. 음극 및 양극 기판으로는 soda-lime유리를 사용하였으며, ITO 전극이 형성된 양극 기판 위에 적색(Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:S:Eu), 녹색(ZnS:Cu,Al), 청색(ZnS:Ag,Cl)을 슬러리 법으로 도포하였다. 1.1mm의 스페이서를 사용하였으며, 음극

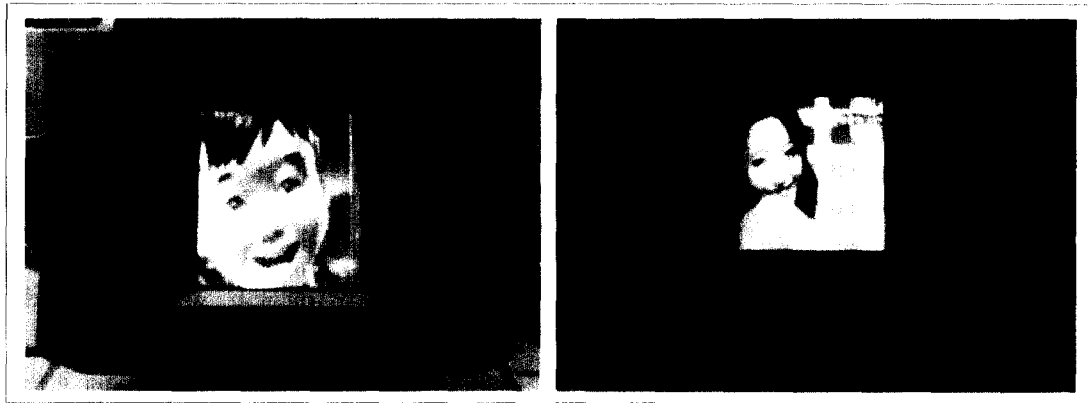


그림 4. 5" CNT-FED (삼성SDI/종합기술원)

판과 양극판의 정렬 후, 패널내부로 Ar과 수소를 흘려 주면서 430℃에서 유리 frit을 녹여 봉착하였다. 350℃에서 10<sup>-7</sup>Torr의 진공도까지 열배기하여 진공봉착 하였으며, 진공열배기 과정에서 Ti-Zr-V-Fe합금의 비휘발성 getter를 활성화하여 패널의 패키징을 완료하였다<sup>[17]</sup>.

삼성에서는 CNT를 이용하여 일반적인 normal gate 구조 이외에 다양한 구조의 FED를 개발하고 있다. 게이트가 음극(에미터) 아래에 위치하는 undergate type, 음극과 양극 사이에 게이트 홀 및 게이크 전극이 형성되어 있는 그리드 판을 삽입하는 remote type등이 있다. 또한 페이스트 대신에 고화질을 위해 thermal CVD를 이용하여 준비된 음극의 일정한 위치에 선택적으로 탄소나노튜브를 성장시켜 전자방출원으로 이용하려는 연구도 함께 진행하고 있다. 삼성에서는 2001년 10월 5" full color 동영상 CNT-FED를 시연하였다. CNT-FED는 8bit color images로 120x80xR,G,B의 해상도를 가지며, 구동전압은 gate/cathode bias=±32volt, anode bias=2K volt(triode structure)였고, Brightness는 240cd/m<sup>2</sup>였다. 그림 4에 삼성에서 시연한 CNT-FED의 사진을 나타내었다.

Candescent 에서는 Sony와 공동으로 Spindt type의

고전압 FED를 중심으로 FED를 개발하여 왔다. 최근 이온주입공정을 이용한 새로운 공정을 이용하여 홀 크기를 0.1μm정도로 축소한 FED를 개발하여 그간 Spindt type FED에서 가장 큰 문제로 인식되어온 신뢰성 문제를 해결하였다고 보고하였다. Candescent에서는 1998년 10월 이후 5.3인치, 13.2인치의 FED를 개발 시연해왔다. 그림 5에 2001년 SID에서 시연된 Candescent와 SONY가 공동으로 개발한 13.2" FED 모델이 나타나있다. FED의 해상도는 SVGA(600×800line)이고, 휘도는 800cd/cm<sup>2</sup>이며 Contrast Ratio는 500:1이라고 보고되었다.

Cannon은 Toshiba와 공동으로 SCE(surface

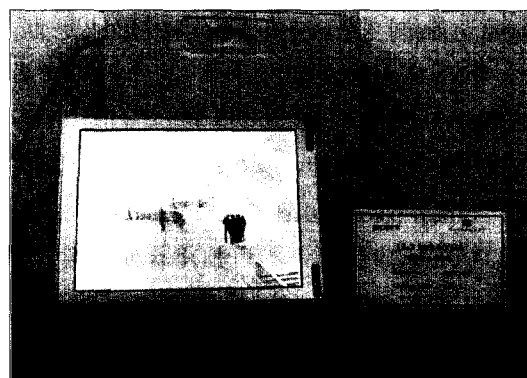


그림 5. 13.2인치 FED 모델



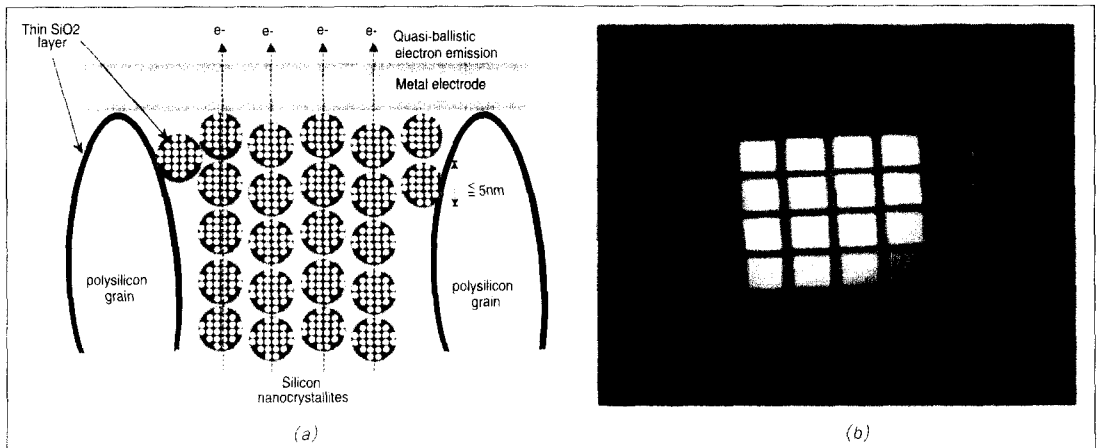


그림 6 BSD(ballistic electron surface-emitting display)의 동작 원리개략도(a)와 display(b)

conduction electron emitter) 구조의 FED를 개발하고 있다. SCE는 후막 프린팅 및 잉크공정을 기본으로 한다. 이들 회사는 저가격 대형 TV용(40인치) FED 개발을 목표로 연구개발을 추진하고 있다. SCE 제작공정은 Pt 전극 위에 초미세 PdO 입자박막을 입히고 전극 사이에 전압을 인가하면 결국 PdO 박막에 작은 갭(fault line)이 형성되어 전기적 단절이 이루어진다. 이렇게 만들어진 소자는 10~100V 사이에서 전자 터널링을 일으키고, 양극(anode)에 전압을 가하여 방출된 전자를 가속하여 발광하도록 하는 것이다. 이 방식에 의하여 690 cd/m<sup>2</sup>의 휘도를 얻었다는 보고가 있다<sup>26)</sup>.

Matshita에서는 BSI(ballistic electron surface-emitting display)라는 FED를 개발 중이다. 이는 다공질 실리콘의 전자방출 현상을 이용하는 것으로 낮은 진공도에서 동작이 가능하고, 초점용 전극이 필요 없으며, 동작전압이 낮고(20V), 대면적 저가격화가 가능하다는 특징을 갖고 있다. 그림 6에 BSD의 동작원리를 나타내는 개념도와 monichromatic display를 나타내었다. 기판으로부터 열여기에 의해 방출된 전자가 인가된 전계(약 10<sup>6</sup>V/cm)에 의하여 가속되어 다공성 실리콘을 통과하여 전극으로 이동한다. 다공성실리콘에 있어 drift

길이는 bulk Si보다 매우 크기 때문에 다공성 실리콘을 통과 시 충돌은 거의 일어나지 않는다. 표면 전극으로부터 hot electron의 방출이 이루어지고 형광체와의 충돌에 의해 발광하게 된다.

PixTech의 경우 단색 FED의 개발을 완료하였고, 7" 종천연색 FED를 개발하였다<sup>27)</sup>. PixTech의 경우 자동차용 display에 초점을 맞추고 있다. 현재 PixTech에서 개발한 7" FED를 차량에 탑재하여 성능 시험을 유럽연합의 공동 과제로 Audi가 주도적으로 진행하고 있다. PixTech에서 개발한 full color FED의 aspect ratio는

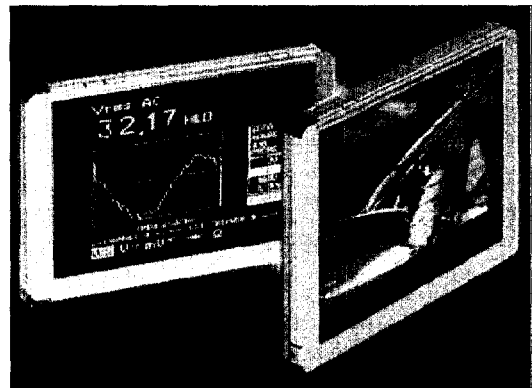


그림 7. PixTech에서 개발한 FED<sup>28)</sup>

16:9이고, 해상도는 480x234xR,G,B이며, 휘도는 600cd/m<sup>2</sup>이상이다. 그림 7에 PixTech에서 개발한 FED가 나타나있다<sup>[27]</sup>.

## V. 결론

대면적 충전연색 평판 디스플레이로서의 가능성을 보여주고 있는 FED의 연구 현황과 전망을 요소기술별로 정리하였다. FED는 평판 CRT로서 다른 평판 표시소

자에 비하여 빠른 응답 속도와 높은 휘도, 광 시야각, 낮은 구동전압 등의 장점을 갖고 있다. 2004년 내에 인치당 \$20이하의 가격으로 32"에서 38"사이의 고화질 TV(HDTV)로 응용을 위한 FED가 상용화될 것이다. FED의 상용화를 위해서는 대면적 TV시장에서 최근 각광을 받고 있는 TFT-LCD와 PDP가 갖는 저가격화와 신뢰도 등의 문제를 해결하여야만 한다. 이에 따라 FED의 개발 초기부터 이들 문제를 고려한 공정, 재료의 개발이 이루어져야 할 것이며, 장비의 개발 역시 함께 진행되어야 할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] www.motorola.com
- [2] 이종덕, "전계방출 이론 및 응용", 청범출판사, (1998).
- [3] C.A.Spindt et al, "Physical properties of thin-film field emission cathodes with molybdenum cones", J. Appl. Phys. Vol. 47, No. 12 (1976).
- [4] I. Brodie, "Advanced Technology: flat- cold-cathode CRTs," Information Display, p17 (1989).
- [5] www.candescent.com
- [6] J.M.Kim et al, Proceed. of Tsukuba Symposium on Carbon Nanotube in commemoration of the 10th anniversary of its discovery, 16, Oct. Tsukuba, Japan (2001).
- [7] J.Macaulay et al, Appl. Phys. Lett., Vol.61, 997(1992).
- [8] C. Bpzler et al, J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 12, 629(1994).
- [9] C.A. Spindt et al, Proceed. of IMID '01, Daegu, Korea (2001).
- [10] 주병권, 한국정보디스플레이학회지, 제2권 3호, p6 (2001).
- [11] 박희동, 강윤찬, 한국정보디스플레이 학회지, 제2권 3호, 46 (2001).
- [12] Y. R. Do et al, The 3rd International Conference on the Science and technology of Display Phosphors, pp229 (1997).
- [13] H. Kominami et al, The 3rd International Conference on the Science and technology of Display Phosphors, pp311 (1997).
- [14] W. Park et al, Mater. Sci Eng. B, Vol76, 122(2000).
- [15] G. R. Villalobos et al, The 3rd International Conference on the Science and technology of Display Phosphors, pp341 (1997).
- [16] G. C. Kim et al, Mater. Res. Bull., Vol.35, 2409 (2000).
- [17] 한정화, 김현정, 박희동, 한국요업학회지, 35권 245(1998).
- [18] H. K. Jung et al, The 5th International Conference on the Science and technology of Display Phosphors, pp239 (1999).
- [19] T. M. Chen et al, J. Solid State Chem., Vol.144, p437(1999).
- [20] 심부용, 정하균, 박희동, 김대수, 한국요업학회지, 37권, p774(2000).
- [21] Y. C. Kang et al, Jpn. J. Appl. Phys., vol.40, 1 (2001).
- [22] 강윤찬, 박희동, 박승민, 서대중, 한국특허 출원번호 2001-0024034 (2001).

## 참고 문헌

- [23] 윤상조. 한국정보디스플레이학회지, 제2권 3호, p73(2001).
- [24] W.B. Choi et al, Appl. Phys. Lett., 75, 3129 (1999).
- [25] F-Y Chuang et al, SID '00 Digest, p329 (2000).
- [26] I.Nomura et al, IDW '96, Tech Digest, 523(1996).
- [27] www.pixtech.com

## 필자 소개

### 유 지 범

- 1978년 3월~1982년 2월 : 서울대학교 금속공학과 졸업
- 1982년 3월~1984년 2월 : 서울대학교 대학원 금속공학과 졸업
- 1984년 9월~1989년 8월 : Stanford Univ. Dept. of Materials Sci. & Eng.(Ph.D.)
- 1989년 9월~1994년 2월 : 한국전자통신연구원 광전자연구실
- 1994년 3월~현재 : 성균관대학교 재료공학과 교수
- 2001년 2월~현재 : 삼성종합기술원 객원연구원
- 2001년 2월~현재 : 한국디스플레이학회 FED연구회 회장

### 김 종 민

- 1976년 3월~1980년 1월 : 홍익대학교 전자공학과
- 1984년 9월~1986년 12월 : 미국 New Jersey Inst. of Tech.
- 1987년 1월~1991년 12월 : 미국 New Jersey Inst. of Tech.(Ph.D)
- 1983년 4월~1984년 8월 : 금성사
- 1988년 8월~1992년 10월 : 미 육군 연구소
- 1992년 11월~1994년 10월 : FED Corp. U.S.A.
- 1994년 11월~현재 : 삼성종합기술원/삼성 SDI
- 1997년 11월~현재 : 창의적 연구진흥사업단장