

소 특 집

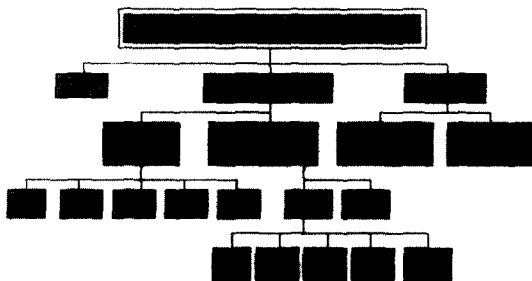
정보 표시소자 기술개발 동향 -정보통신용 Emissive Display 중심으로-

이진호, 윤선진, 도이미

한국전자통신연구원 (ETRI) 반도체·원천기술연구소

정보표시(디스플레이)소자란 전자기기와 사람의 인터페이스로서, 각종 전자기기로 부터 출력되는 전기적 정보신호를 광정보 신호로 변환하여, 인간이 시각을 통해 인식할 수 있는 정보를 표시하는 장치를 말한다. 정보표시소자로 지난 반세기 이상 브라운관(CRT)이 독보적인 위치를 점하였으나, 급속히 발전하는 정보시대를 맞아 다양한 방식의 디스플레이 기술이 요구되고 있다. 이 가운데 경량 박형의 평판 디스플레이(flat panel display)는 가까운 장래에 CRT를 능가하는 기술로 자리잡을 것으로 전망되며, 이미 소형 계측기기뿐만 아니라 노트북 PC가 대중화되며 각종 모니터와 TV에 이르기까지 기존 CRT 방식이 평판 디스플레이로 속속 대체되고 있다. 평판 디스플레이 기술은 이미 시장을 확보한 액정 디스플레이(LCD)와 플라즈마 디스플레이(PDP)가 현재 큰 주류를 이루고 있다. 또한 앞으로 전계발출 디스플레이(FED)와 전계발광 디스플레이(ELD) 등이 관련기술의 향상과 더불어 각 특성에 따른 분야를 점유하게 될 것이다¹⁾.

평판 디스플레이는 <그림 1>에서 보는 바와 같



<그림 1> 정보표시소자의 분류

이 광 정보신호가 자체 발광에 의해 표시되는 발광형 표시소자(emissive display)와 반사, 산란, 간섭현상 등에 의한 주변광의 제어 즉, 광변조로 표시되는 수광형 표시소자(non-emissive display)로 나눌 수 있다. 그 중 LCD가 후자에 해당하며, emissive display로는 ELD, 유기 EL, FED, PDP, LED, VFD 등이 있다. 본 고에서는 이제 상업화가 되기 시작되는 emissive display 중 비교적 중소형의 정보통신 용에 응용되는 유기 EL, 무기EL, FED의 기술현황 및 발전전망에 대하여 조사하였다.

I. Emissive Display 기술개요 및 특징

<표 1>에 여러 평판 디스플레이, 즉 TFT-LCD(Thin Film Transistor-LCD), TFELD(Thin Film EL), FED(Field Emission Display), 그리고 PDP(Plasma Display Panel)의 성능을 비교하여 정리하였는데, emissive display의 세부적인 기술 개요 및 특징을 언급하면 다음과 같다.

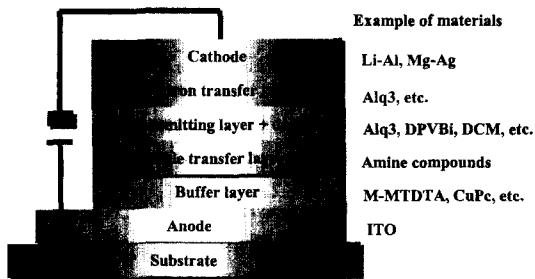
1. 유기 ELD 기술

유기 EL(Organic electroluminescent display, OLED)은 두 전극(양극과 음극)사이에 유기반도체의 특성을 나타내는 발광체를 박막으로 입힌 것으로 외부에서 전계를 가해 주었을 때(양극에서 정공의 이동, 음극에서 전자의 이동) 발광층에서 정공과 전자의 결합으로 인해 생긴

〈표 1〉 평판디스플레이 종류별 특징

구분	장점	단점	크기	개발단계	적용분야	비고
TFT-LCD (Liquid crystal display)	경량, 박형화 고해상도/저소비 전력, 친환경적	가격 高 색재현성, 응답속도 대형화	≥40"	양산 및 연구개발	Note PC Monitor, 디지털 TV IMT- 2000, Car navig- ation, Internet 단말기	응답속도의 지연 (잔상효과)으로 인 해 Digital TV 로의 전환 애로
PDP (Plasma display panel)	대면적 경량/박형화	低효율/가격 高 소비전력 高(CRT대비)	40~ 70"	양산준비 연구개발	HDTV	
유기 EL (Organic Electro- luminescent display)	고속응답/광시야 각/저가격/경량/ 박형화/저소비전력	수명 短 발광재료개발 要	≥66"	소형시제 품 출하 연구개발 양산준비	PDA, CNS, HHPC, 초박형 군사용표시소자 IMT-2000, TV	LCD 대비 1000배 빠름
FED (Field emission display)	영상응답속도 高 고화질/경량 박형화/시야각 무한대	구동전압 高(LCD대비) 수명 短/저전압 형광체개발 要	≥20"	연구개발	IMT-2000, Car- navigator, PDA, Avionic display	영상응답속도는 LCD 대비 1000배, CNT의 경우 대형화 용이
무기 EL (Inorganic Electro- luminescent display)	내충격성, 고신뢰 성, 고해상도/고속 응답, 광시야각, 경량/박형	고가격, 고전압 구동, 청색 휘도	≥20"	연구개발 단색양산	HMD, 의료기기	Full color화 애로

(참고 : 디스플레이연구조합)



〈그림 2〉 대표적인 유기 EL 소자의 구조

exciton이 빛을 내면서 바닥 상태로 떨어지는 현상을 이용한 디스플레이를 말한다^[1,2]. 유기 EL은 〈그림 2〉와 같이 양전극사이에 유기층을 적층한 아주 단순한 구조로 주입형 소자이므로 유럽에서는 OLED(Organic light-emitting diode)라 불리우며 이 점에서는 무기 형광체를 사용하는 Inorganic LED와 비교된다.

유기 박막을 이용한 EL의 연구는 1960년대부

터 시작되었으며 1987년 Kodak의 Tang이 10 V 이하에서 수천 cd/m²를 발표한 이후 P형, N형의 특성을 나타내는 유기박막의 적층(정공주입층(HIL)/정공수송층(HTL)/발광층(EML)/전자수송층(ETL)/전자주입층(EIL))에 따라 소자의 고효율화를 얻어 눈부시게 발전 하였으며, 전극간의 계면특성을 이용하여 보다 낮은 전압에서 발광하는 소자를 만들게 되었다. 특히 유기 EL은 사용되는 유기층의 종류(저분자 : 분자량이 1000-2000정도, 고분자 : 분자량이 수만-수십만)에 따라 저분자 유기 EL(OELD), 고분자 유기 EL(PELD)로 구분하기도 하며, 최근에는 발광 메카니즘(형광 : Fluorescence, 인광 : Phosphorescence)에 따라 OELD, PELD, PhOELD로 구분하기도 한다.

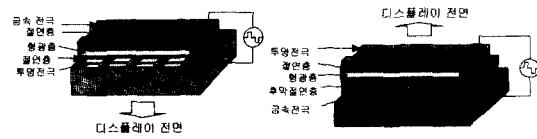
유기 EL panel기술은 박형, 경량화가 가능한 기술로 LCD와는 달리 back light가 필요 없는 초경량(1/4 두께 : 1/3 경량) 발광형 디스플레이

다. 특히 사용되는 기관의 종류(glass : 0.7mm, 플라스틱 필름 : <0.2mm)에 따라 초경량의 디스플레이가 가능한 차세대 디스플레이 분야로 이 같은 장점은 panel의 크기가 클수록, roll to roll process가 가능한 대량 생산일수록 더욱 유리하다. 소비 전력면에서도 back-light가 필요하지 않으므로 기존의 AMLCD보다 유리하며, 화질의 우수성(고정세화, 고실감화) 측면에서는 현재 응용되고 있는 중소형에서는 크지 않으나 TV를 중심으로 한 엔터테인먼트 기기분야에서는 고속응답, 광시야각, 고휘도, 고색순도 등의 특성에서 차별성을 가진다. 가격면에서는 기존 TFT LCD와 비교하여 공정이 비교적 간단하며, back-light 부분이 필요하지 않으므로 제조 가격은 2/3 정도이다. (15" XGA급 공정비 : AMLCD : \$ 350, LTPS/OELD : \$ 200)

2. 무기 ELD 기술

ELD는 어떤 물질에 전계를 가하면 그 에너지에 의해 활성화되었다가 기저 상태로 돌아오면서 물질에 따른 고유한 파장의 빛을 내는 EL 현상을 이용한다. 무기 박막 ELD는 형광체 양단에 고전계(high electric field)를 가했을 때 주입된 전자가 발광중심 이온에 가속 충돌하여 빛을 내는 고전계형 ELD에 해당한다. 무기재료를 기반으로 하는 무기 ELD는 크게 박막 ELD와 분말형 후막 ELD로 분류되는데, 후막 ELD는 주로 LCD panel의 백라이트, 광고판 등에 사용되나, 고해상도 정보표시 디스플레이에는 부적합하다. 본 고에서는 박막 ELD 위주로 설명하고자 한다.

고전계 박막 ELD는 구동 방법에 따라 ac-구동형과 dc-구동형으로 나눌 수 있는데, dc-ELD 들은 수명과 안정성 면에서 미흡하여 상용화에 성공하지 못하였다. Ac-박막 ELD에는 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(TDELD)가 있다. <그



<그림 3> ac-구동형 박막 ELD의 구조
 (a) 박막으로 구성된 전형적인 TFELD
 (b) 강유전체 후막을 하부 절연층으로 채용한 TDELD

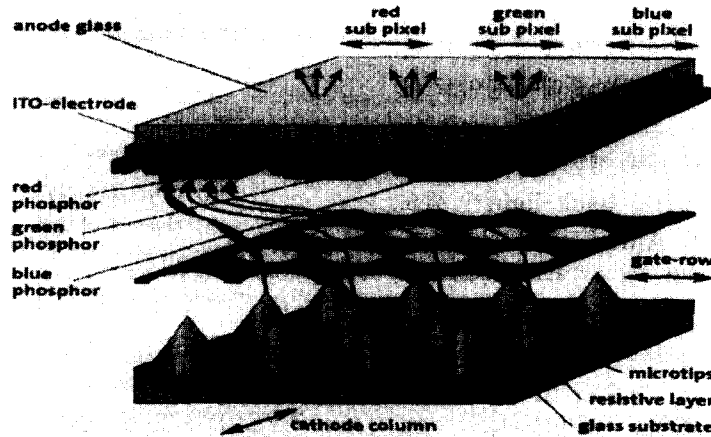
림 3)에 TFELD와 TDELD의 구조를 각각 소개하였다.

TFELD와 TDELD는 모두 하부전극/절연층/형광층/절연층/상부전극의 샌드위치 구조를 가지며, 동작 원리는 기본적으로 동일하다. 양단의 전극에 고전계가 걸리면 절연체와 형광체의 계면에서 전자가 관통되어 형광체 내로 가속 주입되어 형광체에 포함되어있는 발광중심 이온들을 여기시키고, 여기된 전자들이 기저상태로 되돌아 오면서 고유한 파장의 빛을 내는 것이다. Ac-구동형이므로 전자들은 반대쪽 계면에 트랩되었다가 전계가 반대방향으로 걸리면 다시 형광체로 가속 주입되는 과정을 반복하여 거치게 된다.

무기 박막ELD는 그림에서 보는 바와 같이 완전 고체소자로서 디스플레이 기술 중 가장 내충격성, 내진동성이 크며, 가용온도범위가 넓고, 원리상 고해상도 구현 능력이 가장 우수한 기술이다. 그래서 이 디스플레이 기술은 고신뢰성을 바탕으로 한 의료기기, 군용기기, 공정자동화, 운송분야 등에서 고유한 시장을 확보하고 있다.

3. FED 기술

전계 방출 디스플레이(Field Emission Display : FED)는 <그림 4>에서 보는 바와 같이 금속 또는 반도체로 만들어진 극미세 구조의 전계 에미터(field emitter)에 전기장을 인가하여 진공 속으로 방출되는 전자를 형광체에 충돌시켜 화상을 표시하는 디스플레이 소자이다. FED는 원리적으로 브라운관(CRT)의 우수한 표시특성을 그대로 가지면서 경량 박형화가 가능하기 때문에 "Thin CRT"라고 불리기도 하며, 현재 평



〈그림 4〉 대표적인 FED(Field Emission Display)의 단면구조

판 디스플레이 시장의 주종을 이루는 LCD를 대체할 수 있는 차세대 기술로 평가되어, 1990년대부터 미국을 비롯하여 프랑스, 일본 등 전세계적으로 꾸준한 연구가 이루어지고 있다.^[3-5]

II. Emissive Display의 핵심 요소 기술

1. 유기 ELD 기술

a) 발광재료 : 유기 반도체 특성을 나타내는 유기발광재료의 요구조건은 1. 고체상태에서 양자효율이 클 것, 2. 균일한 박막을 형성할 것, 3. 박막 구성이 안정할 것(내구성, 내산화성 등), 4. Tg가 높을 것(열안정성 우수), 5. 적당한 HOMO, LUMO 준위(RGB에 대한)를 가져야만 한다. 이제까지 가장 많이 사용되는 RGB는 Alq₃에 DCM유도체(DCJTb)를 도핑한 적색, Quinacridone 유도체를 도핑한 녹색, DPVBi host로 이용한 청색 등이 알려져 있다. 특히 전하 수송층(Charge Injection Layer)은 전하(정공 또는 전자)를 이동시킬 수 있는 재료로 HIL은 CuPc, Starbust 등의 재료가 쓰이며, HTL은 NPD 계열의 방향족 아민류가 많이 사용된다. 또한 ETL/EIL로는 Alq₃/LiF와 같은 절연재료가 가장 많

이 쓰이고 있다.

한편 일중여기상태(singlet state) 뿐만이 아니라 삼중여기상태(triplet state)를 이용하여 발광효율을 증가시키는 인광재료로는 주로 중금속 착물(Ir(Ppy)₃, PtOEP 등)이 이용되고 있다.

고분자전기 발광소재는 최근 들어 급진적인 발전을 이루고 있으나 well defined RGB의 재료 개발, 고순도화를 통한 발광효율의 극대화가 요구되고 있으며 현재 polyfluoren, PPV유도체를 이용하여 RGB를 나타내고 있다.

b) 소자제작 및 Full color화 : 저분자를 이용한 소자제작은 고진공에서 열에 의한 승화(sublimation)이 의해 다층박막을 제작하는 것으로 박막 제작시 재료의 손실(95% 정도의 loss)과 이에 따른 마스크의 오염이 실제 양산에서 문제시 되고 있고 기판의 크기가 클수록 이 같은 단점이 문제시 되고 있다. 한편, 저분자의 full color 기술은 마스크를 이동시켜 RGB 박막을 증착시키는 기술을 이용하나 고분자는 스펀코팅 또는 잉크젯 방법을 이용한다. 스펀코팅 방식은 잉크젯 방식 보다 효율성은 우수하나 Full color화하기 어려운 점이 있다. 잉크젯 방식(IJK)은 발광효율과 수명의 증가, 단위화소에서 휘도의 균일성을 얻는 것이 핵심기술이며, 정확한 위치에 필요한 량의 유기 EL잉크를 오염없이 분산하는 것, 반복시 노즐에서의 재현성, 노즐에서 분산되

는 잉크의 위치제어, 잉크액분산에 따른 표면의 평탄화, 박막두께의 균일화가 핵심기술이다. 이 같은 문제점을 개선하기 위하여는 IJK Head와 ink, IJK의 maintenances, 발광고분자의 개선(잉크 용매, 표면의 오염성, 화소설계) 등의 기술적인 문제점을 먼저 해결해야만 한다.

c) 구동기술: 초기에는 주로 PM(Passive Matrix)이 연구되어 왔으나 기판 size의 증가 추세에 따라 점차적으로 LTPS(Low temp. poly-Si) AM(Active Matrix)가 급속히 연구 진행되고 있다. PM의 경우 단순한 공정이 장점이나 Row line 수에 비례하여 휘도가 감소하는 단점이 있다. AM의 경우 size에 관계없이 고휘도가 실현되며, 저소비전력, 구동회로의 집적화가 가능한 기술로 제조 공정 단가가 비싸다는 단점이 있다. AM 구동의 핵심기술은 저전력을 구현하는 것으로 μA - pA 크기의 전류제어(V_{th} 가 수백 mV의 범위에서 비균일성을 나타내면 연이어 휘도의 변화로 직결됨)가 가능한 LTPS의 제작이 필요하며 양산출하시에 panel 간의 휘도조정까지도 필요하게 된다.

d) Encapsulation 기술: 유기 EL panel은 근본적으로 열, 내산화성, 내구성이 약한 유기물을 사용하므로 Encapsulation을 통한 수명연장 기술은 또 다른 핵심기술이다. 지금 현재 getter가 부착된 can을 사용하여 passivation을 하고 있으나 접착제를 사용하였을 때 glass-metal 간의 접착력 감소, 뒤틀림 현상 등이 문제되고 있으며 glass로 passivation하는 방법을 이용하기도 한다. 향후 외부로부터의 수분, 산소 등의 침투를 막고, 접착력을 최대화 하기 위하여는 박막형 passivation 기술도 검토되어야 하며 이 같은 기술은 대면적화 기술에 적용되리라 예상된다.

2. 무기 ELD기술

여러 층의 박막으로 구성된 매우 간단한 구조의 박막 ELD는 그 만큼 재료의 특성에 크게 의존한다. 먼저 가장 빛을 잘 낼 수 있는 형광재료의 제조가 중요하다.

형광체의 모재로는 형광체 내로 전자가 주입되

고 또한 충분히 가속되기에 용이한 좋은 계면과 결정성을 가지고 있어야 하며, 가시광선 영역의 빛이 발광할 때 이를 흡수하지 않도록 3.0~4.5 eV 정도의 밴드갭을 가지고 있어야 한다. 모재로는 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. 발광중심이온에 따라 색이 서로 다르며, 동일한 발광중심이온도 모재료가 다르면 색이 다른 EL을 발생하는 경우도 있다. 가장 특성이 우수한 ZnS:Mn 황등색 ELD는 1983년 이미 단색 ELD로 상품화되었으며, 녹색 ZnS:Tb ELD, 청록색을 내는 SrS:Ce 등이 상품화에 사용되고 있다. 그리고 ZnS:Mn/SrS:Ce 다층구조 백색 ELD가 필터를 채용한 천연색 ELD 시제품에 사용되고 있다. 지금까지 개발된 우수한 색도와 휘도의 청색 형광체로서는 SrS:Cu, Ag, CaS:Pb, BaAl₂S₄:Eu 등이 있다.

ELD 구조는 <그림 3>에서 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. 박막 ELD의 단점 중 하나인 고전압이 요구되는 이유가 바로 두 층의 절연층이 있기 때문인데 유전상수가 매우 크면서도 전계파괴 특성이 우수한 절연재료를 개발하는 것도 ELD의 단점을 극복하는 데에 큰 과제 중의 하나이다.

보통 유전상수 5~12 정도의 절연체를 사용하는 TFELD와는 달리 TDEL은 유전상수가 매우 큰 절연재료를 사용하나 두께가 두꺼우므로 실제로 절연층과 형광층에 걸리는 전계의 세기는 TFELD의 경우와 거의 유사하다. 절연체의 유

전상수가 클수록 보다 많은 전자가 주입될 수 있으나 고전계를 유지하기에는 유전상수가 큰 절연체들이 전기적 파괴강도(electrical breakdown strength)가 약하므로 상대적으로 불리하다. TDEL의 경우 강유전체를 사용하고도 동일한 크기의 전계를 형광층에 안정적으로 유지해 줄 수 있는 이유는 매우 두껍게 후막 형태로 형성하기 때문이다.

TFELD는 주로 20인치 이하의 중소형과 1인치 이하의 초소형 고해상도 디스플레이로 사용되며, TDEL은 후막 절연층을 사용하므로 미세 패턴 형성이 어려운 대신 고휘도를 얻을 수 있는 장점 때문에 25~40인치 급의 대구경 TV용 등으로 개발되고 있다.

3. FED 기술

FED는 크게 냉전자 방출원을 중심으로 하는 캐소드 기술, 형광체를 중심으로 하는 아노드 기술, 진공 패키징 공정 및 유지 기술, 그리고 구동 회로 기술의 핵심 요소 기술로 구성된다. 캐소드의 전자방출원의 형태에 따라 크게 팁 형과 평면형으로 분류될 수 있으며, 팁형의 전자원 재료로는 주로 몰리브덴을 사용하며, 높은 전류 밀도를 얻을 수 있으나, 패널의 크기를 20 인치급으로 증가시키는 데에 제약이 있다. 평면형 전자원 중, SCE는 2쌍의 백금 전극에 PdO 초미립자막을 잉크젯 방식으로 형성하고 통전함으로써 백금 전극간 중앙부의 PdO막에 10nm 정도의 균열을 형성시키고, 그 균열사이에서 전자가 방출되는 에미터로서, 저가격화 및 대형화에 장점이 있으며, 표면전류에 비해 아노드로 날아가는 전자의 비율이 매우 낮은 단점이 있다. Canon 및 Toshiba가 SCE의 대형화할 수 있는 장점을 PDP의 1/5의 전력소모를 가지는 30~40인치급 이상의 중 대형 디스플레이 시장 진입을 목표로 개발하고 있다. MIM 구조의 에미터는 알루미늄 전극위에 양극산화를 하여 5.5nm의 얇은 절연막을 금속층사이에 형성시키고 전자의 터널링에 의한 전자방출을 이용하는 구조로, 절연층 내부에서의 전자를 발생시키기 때문에 외부 오염에

강한 장점이 있다. 최근 연구 개발이 활발한 CNT(탄소 나노 튜브)의 경우 전계 방출 성능을 향상시킬 수 있는 두 인자, 즉 이상적인 구조와 낮은 일함수를 가지는 특징으로 인해 이를 이용한 FED 개발이 가속화되고 있다.

FED 아노드 기술의 경우 아노드에 인가되는 전압에 따라 크게 고전압 형광체와 저전압 형광체 개발로 분류되고 있다. 고전압 형광체의 경우, 3,000V 이상의 전압에서 동작하며, 형광체는 P-22 등 확립된 CRT용 형광체를 사용하여 고휘도를 얻을 수 있는데, 이것은 효율이 높고, 수명이 길고, 색 순도가 우수하며, 공급 업체들이 많다는 장점을 지니고 있다. 이러한 고전압 형광관을 아노드에 사용하는 경우, 고전압에 의한 아킹과 전기적 항복을 방지하기 위해 캐소드와 아노드간에 일정 거리가 요구되며(아노드에 5kV의 전압이 인가될 때 1.2mm 이상의 간격이 요구됨), 이로 인해 전자빔의 퍼짐을 방지하는 초점 조절 전극, 캐소드판과 아노드판을 지지하기 위해 큰 중횡비를 갖는 내부 지지 구조(스페이서)가 부가적으로 필요하게 된다.

FED는 기본적으로 진공 내에서의 전계 방출에 의해 동작하는 소자로서 패널 내부가 반드시 진공으로 유지되어야 한다. 실링 재료들이 이동하거나 소자를 오염시키지 않아야 하고, 상부 및 하부 기판들과 친화성이 있어 응력 등을 발생시키지 않아야 하고, 패키징에 걸리는 시간이 짧아 생산성을 높일 수 있어야 한다. 현재는 tube-based 진공 패키징을 많이 사용하는데, 생산성 및 품질을 고려하면 궁극적으로는 진공 in-line 패키징 개발이 필요하다.

스페이서들은 양극 기판 내의 black matrix 내에 위치하여 외부로부터 관찰되지 않아야 하며(50~100cm의 폭, 25:1 이상의 종횡비), 가열 공정시 응력에 의한 손상 방지를 위하여 상·하부 기판과의 열 팽창계수 등이 부합되어야 하며, out-gassing, 형광체와의 반응성 등이 적어야 하고, 음극-양극 간의 절연이 유지되는 범위 내에서 표면 전도성이 있어 전하 축적이 방지되어야 하며, 전기적 항복이 일어나지 않도록 2차 전

자의 발생이 적어야 하며, 유리 프릿(glass frit), 폴리이미드(polyimide), 감광성 유리(photo-sensitive glass), 유리 구조물(cross, pillar, rib, ball 등), 세라믹 구조물, 그리고 광 파이버(optical fiber) 등이 사용되고 있다.

III. 연구 개발동향

1. 유기 EL 기술개발 동향

고속응답, 고실감화, 광시야각, 저소비전력의 특성을 나타내는 유기 EL기술은 크게 소재개발과 panel의 제작으로 구분할 수 있다. 1. 재료면에서는 보다 우수한 색순도, 고효율, 장수명을 나타내는 발광재료(형광, 인광 포함)의 개발에 TDK, Covion, Philips, CDT, MC(Mitsubishi chemical) 등이 연구 개발하고 있다. 2. Panel 제작의 기술은 일본(Pioneer, Sanyo-Kodak, Toshiba-Matsusida, Sony 등), 미국(Kodak, UDC, Opsys, Dupont, Everesrt Display, Dupont 등) 유럽(CDT, Philips 등), 중국, 대만 등에서 화학, 전자회사 간에 시너지 효과를 최대화 하기 위하여 공동연구들을 진행하고 있다. 국내에서도 SNMD(Samsung-NEC mobile display), LG, 현대, 오리온 등에서 진행하고 있다. 유기 EL 기술은 아직 성숙되지 않은 기술로 소자의 고효율, 장수명화를 위한 기술개발(재료 및 공정 기술 등), 양산화 기술(Encapsulation 기술, 장비 기술 등), 대형화 기술(재료 및 소자의 최적화, 대형기판 handl-ing 기술 등) 등에 연구의 핵심을 두고 진행하고 있다. 특히 필름형 유기 EL 기술은 차세대 초경량의 디스플레이가 가능한 기술로 광학적 투과도가 우수한 고기능성 필름의 개발, 플라스틱 필름 위에 유기 EL공정의 연구, 장수명화를 위한 박막형, passivation기술 등이 연구되고 있으며 Pioneer, UDC, Philips, 그리고 국내에서는 ETRI에서 연구 진행하고 있다.

유기 EL 기술은 1987년의 Breakthrough 이

후 13~14년 걸려 이제 Mobile-Phone 수준에 실용화에 도달하였으나 앞으로 축적된 기술의 수준에 따라 CNS, HHPC(Hand-held PC) 중형의 TV, 더 나가서 대형 size까지 가능하다. <그림 5(a)>에는 일본 Sony사에서 2001년도 SID에서 전시한 13.2인치 능동구동형 유기 EL panel 사진을 소개하였다. 더 나아가 미국 Everest Display는 66"급 대화면 유기 EL panel의 개발에 착수하였다⁶⁻¹⁰⁾.

2. 무기 EL 기술개발 동향

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. 그러나 최근까지 천연색 박막 ELD가 상용화되지 못한 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 시장에는 박막 ELD가 사용되지 못하고 있었다.

그러던 중 1990년대 중반까지 휘도 15cd/m² (@60 Hz) 이하의 수준이던 청색 형광체 기술은 1997년 미국 Planar Systems사에서 SrS:Cu, Ag 청색 형광체(휘도>25cd/m² @60 Hz, CIE color coordinate(0.17, 0.13))를 보고한 것을 시작으로 하여 1999년 한국 ETRI에서 CaS:Pb 청색 형광체(>80cd/m² @60 Hz, (0.15, 0.07))를 개발하였고, 이어서 일본 메이지 대학에서 BaAl₂S₄:Eu 청색 형광체(>60cd/m² @50 Hz, (0.12, 0.10))를 보고하였다¹¹⁻¹³⁾. 이러한 고휘도 청색 형광체들이 고효율, 사용온도에 따른 성능의 안정성, 장수명, 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 대한 큰 관심과 기대를 다시 불러 일으키는 계기가 되었다.

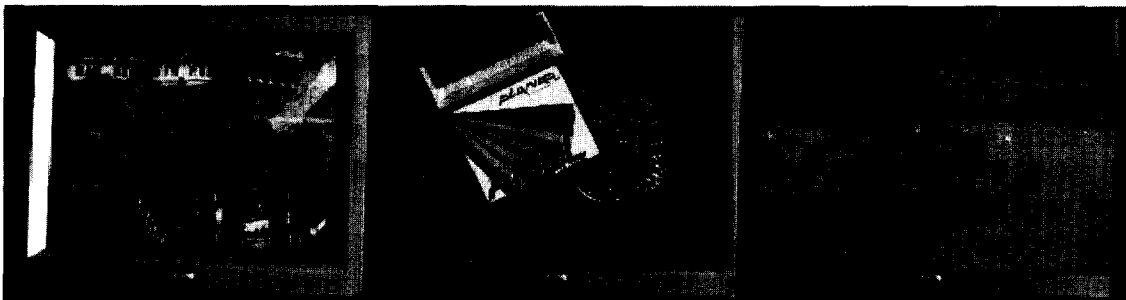
앞으로 유망한 박막 ELD 시장은 각 기술의 장단점을 고려할 때 크게 세 분야를 생각해 볼 수 있다. 첫째는 ELD의 내구성과 우수한 시인성, 내환경성이 유용하게 사용되며, 고전압 공급이 용이한 중소형 차량탑재용 디스플레이, 둘째 하이브리드형 TDELCD가 겨냥하고 있는 25인치~40인치 정도의 중대형 디스플레이, 그리고 세 번째로 TFELD가 미세패턴 형성에 매우 유리하고, 내환경성이 뛰어나므로 head-mount display(HMD) 등에 사용될 초고해상도 초소형 디스플레이 분야이다.

차량탑재용 디스플레이의 경우 트럭, 고속전철 등의 특수분야 뿐만 아니라 일본 Denso Corp.에서 투명 EL 디스플레이 및 다색 디스플레이의 형태로 지난 1999년부터 일반 승용차의 계기판에 장착하고 있다^[14]. 하이브리드형 TDELCD는 캐나다 iFire Technology에서 현재 천연색 대구경 디스플레이를 개발 중이다. 이 기술은 벽걸이 TV, HDTV, 중대형 모니터 등의 거대 시장을 목표로 한다는 점에서 많은 주목을 받고 있다. iFire Technology는 PDP 보다 훨씬 간단한 제조 공정과 높은 수율 때문에 TDELCD의 제조 단가가 PDP보다 40% 이상 저렴할 것으로 기대하고 있다. 미국 Planar Systems는 현재 TFELD

의 시장 점유율이 가장 큰 회사로서 특히 HMD용 초고해상도 능동구동형(active-matrix, AM) TFELD의 개발에 주력하고 있다^[15]. TFELD는 ELD 소자의 총 두께가 수 μm 에 불과하므로 시인성이 매우 우수하고 초미세 패턴의 형성이 용이하므로 HMD용으로 가장 적합한 디스플레이 기술이다. Planar Systems가 2000년에 발표한 자료에 의하면 1인치 크기 이하의 QVGA급 천연색 AM-TFELD의 사양이 무게 3g 이하, 휘도 171 cd/m^2 , 전력소모 0.5W(통상적인 동작 조건 하에서) 이하이며 청색도가 CIE color coordinate (0.13, 0.17)로서 크게 개선되었다. <그림 5(b)>에 Planar Systems사의 0.7인치 천연색 AM-TFELD 제품을 소개하였다.

3. FED 기술개발 동향

FED는 현재 차량항법 장치용 소형 디스플레이로 상품화가 시도되고 있지만, 각 메이커에서는 우선 소형의 시장에서 사업경험을 축적해 나가면서 대형 벽걸이 분야를 겨냥할 전략을 갖고 있다. 현재 FED의 생산을 목표로 하여 제품 개발에 주력하고 있는 회사들은 세계적으로 10여 개에 이르며, 나름대로 독창성 있는 구조들을 제시하고 있다. 미국과 일본에서 활발한 개발동향을 보이고 있으며, 미국의 Candescant, Motorola, PixTech, 일본의 Canon, Futaba, Matsushita 등이 제품화를 눈앞에 두고 있으며, 유럽에서는 에미터의 개발 및 형광체 재료개발에 치중



<그림 5> (a) Sony 13"SVGA급 능동구동형 AM-OLED
(b) planar Systems사의 0.7인치 VGA급 천연색 능동구동형 AM-TFELD
(c) 탄소 나노 튜브를 이용한 삼극형 에미터구조 및 15인치 VGA급 FED

하고 있다.

미국의 PixTech사는 2001년 6월 독일의 Audi 자동차에 탑재 시험용 7인치 칼라 FED (480x 234), 미국 육군에 12.1인치 FED(단색, 6비트, 800(600 화소)를 각각 납품한 바 있다. 미국의 Candescant의 경우, "ThinCRT"로 일컬어지는 고전압 FED 모델을 채택하여 4.4인치, 5.3인치, 13.2인치(SVGA)급 모듈을 순차적으로 발표하는 등 기술적인 우위에 있었으나, 현재 경영위기에 처해 있다.

한편, 일본의 Canon은 FED의 일종으로, 후막 프린팅 및 잉크 젯 공정을 모체로 한 저가격-대형 SED(Surface-conduction Electron-emitter display)를 개발하였으며, 이를 토대로 Toshiba와의 협력 체제를 통해 30~40인치급 이상의 중 대형 디스플레이 시장 진입을 목표로 하고 있다. 아울러, Matsushita는 탄도 전자면 디스플레이라는 모델을 최근 개발한 바 있는데, 이는 다공질 폴리실리콘 박막으로부터의 전자 방출 현상을 이용한 것으로 간단한 구조, 낮은 소비 전력, 적은 투자 비용 등의 장점을 강조하고 있다. Ise에서는 탄소나노튜브를 이용한 14인치 및 40인치급 패널을 개발하고 있다^[16].

국내의 경우, 삼성 SDI에서는 약 50여명의 개발인력이 FED 제품화를 위하여 매진 중이며, <그림 5(c)>에 소개한 탄소 나노 튜브를 이용한 15인치급 VGA급 FED를 개발하였으며, 현재 TV를 목표로 SD급 32인치 탄소나노튜브 FED 패널, 차량항법 장치용 QVGA급 7인치 패널을 개발하고 있다^[17]. LG전자 디스플레이 연구소의 경우 고진공패키징 기술을 확보하고 있으며, 독자적인 전자 방출원 방식으로 20인치급 패널을 개발하고 있다. ETRI에서는 정보통신부의 지원으로 핵심기반기술을 확보하였고, 독자적인 능동 구동형 에미터를 개발하여 차별성 있게 접근하고 있으며^[14], KIST 등의 연구소, 그리고 서울대를 비롯한 일진나노텍, 성균관대, 한양대 등은 핵심 요소기술 및 탄소나노튜브 관련 연구결과를 활발히 발표하고 있다.

IV. 발전전망

정보표시소자의 시장은 반도체 다음가는 큰 시장으로 지난해 225억불로 전년대비 8% 남짓 감소했던 세계 평판디스플레이 시장은 올해 265억불로 17.8%로 성장하며 내년엔 336억불, 2004년 403억불, 2005년 496억달러로 예상된다. 국내에는 패널에서 부품소재까지 130여개 업체가 있으며, 5만여명이 디스플레이 산업계에서 종사하고 있고 점차 확대될 전망이다.

유기 EL은 최근 2-3년간의 급속한 재료 및 공정의 발전에 힘입어 현재 mobile phone이 Motorola, Pioneer, SNMD 등에 의해 시판되고 있으나 실용화에 이르기에는 수명, 구동시간증가에 따른 백색좌표의 이동, 양산 설비 수준 미흡, 수득을 저하 등 아직 많은 어려움이 있다. 점차적인 기술축적의 수준에 따라 이동통신 단말기(CDMA, CNS, IMT-2000. 등), 휴대정보통신기기(PDA, HPC, HMD 등) 뿐만 아니라 10"급 이상의 모니터, TV, Notebook 등에 도달할 뿐만 아니라 구부림이 가능한 벽지용 디스플레이, roll-up display까지 가능한 유연성 있는 대형 디스플레이까지 가능한 기술이다.

무기 박막 ELD는 다른 디스플레이에 비해 내환경성 디스플레이로서의 우수한 장점을 가지고 있음에도 불구하고, 현재까지 고휘도 천연색 ELD 패널의 상용화가 지연되면서 시장의 요구와 발전 추세에 기술의 개발속도가 미치지 못함으로써 고신뢰성을 요구하는 특수 디스플레이의 틈새시장을 목표로 개발, 생산되어 온 것이 사실이다. 이 시장은 디스플레이 시장의 호황과 불황에 무관하게 매년 15~20%의 지속적인 성장을 계속하고 있으며, 현재 1.5억불 내외의 시장을 유지하고 있다. 최근 정보통신 기술이 크게 발전하면서 보다 고품위의 디스플레이를 요구하고 있으므로 차량탑재용 디스플레이, 공정자동화 기기용 디스플레이 등 박막 ELD의 고유한 장점이 빛을 발할 수 있는 시장에서 꾸준한 성장이 기대된다. 또한 대구경 천연색 디스플레이로서의 가능성을 보이

고 있는 Hybrid형 TDEL 기술 역시 HDTV 시장을 겨냥하여 상업화를 목전에 두고 있어서 앞으로 박막 ELD 시장에 큰 변화가 예상된다.

FED는 디스플레이의 여러 가지 장점으로 인해 그 가능성이 충분히 큼에도 불구하고, 전자 방출원에서 부터 형광체, 진공 패키징에 이르기까지 요소기술의 측면에서 아직 개발의 여지가 남아 있어 양산화가 지연되어 왔다. 넓은 사용온도 범위, 넓은 시야각, 고속 응답성, instant on 기능, 휘도 조절의 용이성 등 FED의 장점을 가장 잘 살릴 수 있는 영역인 차량용 디스플레이 시장에서 가장 먼저 닻을 내릴 것으로 생각된다. 최근에는 Spindt형의 금속팁을 채택하는 대신, PDP와의 경쟁을 염두에 두고 중대형 FED기술이 활발히 개발하고 있으며, 이러한 기술은 후막형 필름이나 탄소나노튜브를 이용한 에미터를 스크린 프린팅 기술을 사용하여 제조하므로 저가격화 및 저소비 전력의 장점을 가지는데, 2000년대 말경에는 HDTV와 같은 대형 스크린에도 FED가 사용될 수 있을 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

- [1] M. Pope, H.P. Kallmam, and P. Mag-nate, J. Chem. Phys., 38, 2402(1963).
- [2] C.W. Tang and S.A. VanSlyke, Appl. Phys. Lett., 51, 913(1987)
- [3] B.R. Chalamala, Y. Wei and B. Gnade, IEEE Spectrum, 1998(April), p. 42
- [4] Y.H. Song, D.H. Kim, S.W. Kim, S.K. Lee, M.Y. Jung, S.Y. Kang, Y.R. Cho, J.H. Lee and K.I. Cho, Proceedings of SID 2000, p.1252
- [5] C.J. Curtin, Y. Iguchi, Proceedings of SID 2000, p.1263
- [6] Nikkei Microdevices Special Section, Flat-Panel Display 2002
- [7] <http://www.cdtltd.co.uk>
- [8] <http://www.universaldisplay.com>
- [9] <http://www.uniax.com>
- [10] <http://www.pioneer.com>
- [11] S.J. Yun, Y.S. Kim, and S.H.K. Park, Appl. Phys. Lett. 78, 721(2001)
- [12] S.S. Sun, E. Dickey, J. Kane and P. Yocom, Conf. Rec. of 1997 IDRC, p.301 (1997)
- [13] N. Miura, M. Kawanishi, H. Matsu-moto, and R. Nakano, Jpn. J. Appl. Phys. 38, L1291(1999)
- [14] H. Inuzuka, T. Yamauchi, Y. Hattori, M. Katayama, and N. Itou, J. SID, 9, 197(2001)
- [15] T. Nguyen, R. Koyama, T. Larsson, K. Ping, and R.T. Tuenge, J. SID, 9, 237(2001)
- [16] S. Uemura, et al, Proceedings of SID 2002, p.1132
- [17] C.G. Lee, J.M. Kim, et.al, Proceedings of SID, p.1125

저자 소개



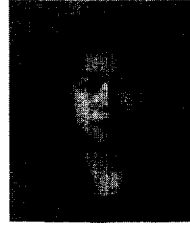
이진호(Jin-Ho Lee)

received his M.S. degree in Physics from Korea University, Korea, in 1982. In 1982, he joined ETRI. He has been engaged in the research and development of semiconductor devices and field emission display. He received his Ph. D. degree in Physics from Kyungpook National University in 1998. From 1995, he was a principal researcher and information display team leader in ETRI. He is also a professional engineer in electronics application field. His research field is FED, TFT, SOD (system on display) and carbon nanotube applications.

도이미(Lee-Mi Do)

received her M. S. Ph. D degree in Chemistry from Hannam University, Korea, in 1984 and 1990.

From 1992 to 1993, she has done in Tokyo Institute of Technology(TIT) as a visiting researcher. She received 2nd Ph. D. degree from TIT in 1995. From 1996, she has been engaged in the research and development of organic electroluminescence devices as a flexible display team leader in ETRI. She was working on the flexible OLED, organic thin film transistors, and surface characterization using scanning probe microscope.



윤선진(Sun Jin Yun)

received her M. S and Ph. D degrees in Physical Chemistry from Korea Advanced Institute of Science and Technology in Seoul, Korea, in 1983 and 1987, respectively.

Since 1987, her main research activities have been concentrated on the thin film technologies such as atomic layer deposition, molecular beam epitaxy, and ionized source beam epitaxy. She had also worked with University of Illinois at Urbana-Champaign as a visiting research associate from November of 1991 to March of 1993. Her recent research topics are on thin film electroluminescent display, thin film phosphors, insulating films, atomic layer deposition techniques, and thin film characterization techniques.