

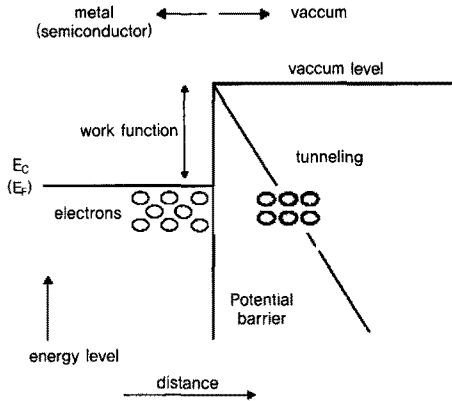
FIELD EMISSION 기술과 디스플레이 응용

조우성, 여정완, 문승일, 주병권(고려대학교)

I. 전계 방출 (Field emission, FE)

전계 방출 현상은 1897년에 R. W. Wood가 진공 용기 내에서 두 개의 백금 전극간에 생기는 아킹을 연구하는 과정에서 최초로 발견되었으며, <그림 1-1>에 보인 바와 같이 진공 내에서 있는 금속 표면에 10^7 - 10^8 [V/cm] 이상의 높은 전계가 인가될 경우, 금속 표면의 전위 장벽이 낮아지고 얇아진 전위 장벽을 전자가 통과하는 양자역학적 터널링 효과에 의해 전자가 진공 상태로 방출되는 현상을 말한다. 이러한 전계 방출 현상은 저온에서 금속, 반도체, 절연체와 같은 고체에서 주로 일어나지만, 일부 저온 상태의 액체에서도 일어난다. 기본적인 전자 방출 과정과 이 과정에 의해서 발생하는 전류 밀도는 wave-mechanical formulation를 이용하여 1928년에 Fowler와 Nordheim에 의해서 설명되었다. 이러한 이유에서 전계 방출 현상은 Fowler-Nordheim 터널링으로 널리 알려지게 되었다.

전계 방출 시, 발생한 전계 방출 전류는 식 (1)과 같은 Fowler-Nordheim 방정식으로 표현된다. 여기서 J는 방출 전류 밀도 [A/cm^2], a와



<그림 1-1> 전계 방출 현상

b는 상수, E는 인가 전계 [V/cm], 그리고 Φ 는 일함수 [eV]에 해당된다.

$$J = aE^2 \Phi^{-1} \exp(-b \Phi^{3/2}/E) \text{ ----- 식(1)}$$

이러한 Fowler-Nordheim 방정식은 전류-전압 관계로 다시 표현하면 식(2)와 식(3)으로 표현되는데, 식 (3)에서 I/V^2 과 I/V 간의 관계는 직선으로 표현될 수 있으며, 이를 통하여 전계 방출 전류임을 확인함과 동시에 유효 일함수나 방출 면적 등을 구할 수 있다.

$I = MV^2 \exp(-N/V)$ (단, M과 N은 상수) --- 식(2)

$\text{Log}(I/V^2) = -N/V + \text{상수}$ ----- 식(3)

식(1)로부터 작은 영향들을 무시한 상태에서 Fowler-Nordheim 방정식을 수식화하면, 식(4)와 같으며, 이 식에서 우세한 항은 지수항으로서 전계가 증가하고 ($E = 1.74 \times 10^7 \sim 8 \times 10^7 \text{V/cm}$), 일함수가 감소하면 ($\Phi = 0 \sim 5 \text{ [eV]}$) 전류 밀도 (J)는 매우 급격히 증가한다. 또한 식(5)에서 나타낸 바와 같이 방출부의 형성에 관련된 전계 증배 계수 β 는 전극에 인가되는 전압 (V)와 이로 인해 방출부에 인가되는 전계 (E)의 비례상수로 표현되고, 이 때 β 는 식(6)에 나타낸 바와 같이 비례 상수 (k)에 의해 방출부의 높이 h에 비례하고, 반경 r에 반비례한다.

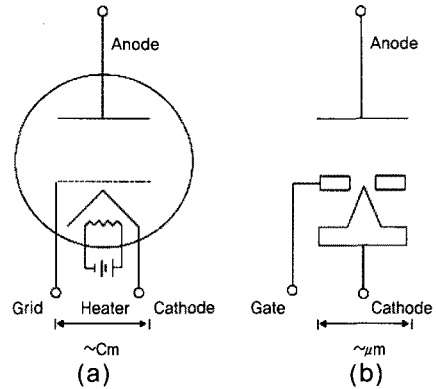
$J = 1.54 \times 10^{-6} E^2 \Phi^{-1} \exp(-6.83 \times 10^7 \Phi^{3/2}/E)$ --- 식(4)

$E = \beta N$ ----- 식(5)

$\beta = kh/r$ ----- 식(6)

따라서 전계가 최대가 되고 방출원의 일함수가 최소가 되도록 하고, 전계 증배 계수 β 값을 증가시킬 수 있도록 끝이 높고 뾰족한 팁을 사용하는 것이 작은 인가 전압에서 큰 방출 전류를 얻는데 매우 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있다.

상기 Fowler-Nordheim 방정식을 통해서 알 수 있듯이, 전계 방출 현상은 물질의 특성과 전계 방출원의 모양에 높은 의존성을 갖으며, <그림 1-2>에 보인 바와 같이 열전자 방출



<그림 1-2> (a) 열 전자 방출 진공관, (b) 전계 방출 진공관

(thermionic emission)과 달리 인가 전압(전계) 이외에 추가적인 에너지를 부여하지 않기 때문에, 진공 소자의 영역에서 매우 높은 효율, 방출된 전자의 낮은 scattering, 빠른 turn-on 시간, 콤팩트한 구조 등과 같은 장점을 통하여 열 전자 방출을 빠르게 대체해 가고 있으며, 고해상도 전자 현미경, Auger spectroscopy, 주사 전자 현미경 (Scanning Electron Microscope, SEM), 투과 전자 현미경 (Transmission Electron Microscope, TEM), 전계 방출 디스플레이 (Field Emission Display, FED), X-ray 발생기 등의 전자 방출원로서 폭넓게 이용되고 있다.

II. 디스플레이 분야의 응용

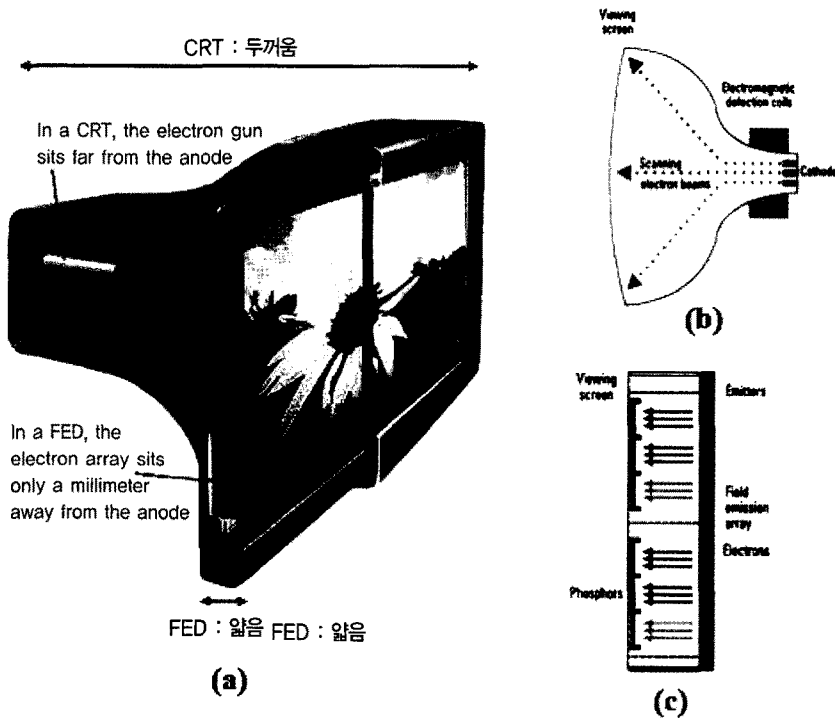
1. Field emission display (FED)

FED는 원리적으로 CRT(Cathode Ray Tube)와 유사하게 전자를 고에너지로 가속해서 형광체에 충돌시켜 형광체를 여기시킨 후 그것이 완화될 때 발산하는 빛으로 화상을 표시하

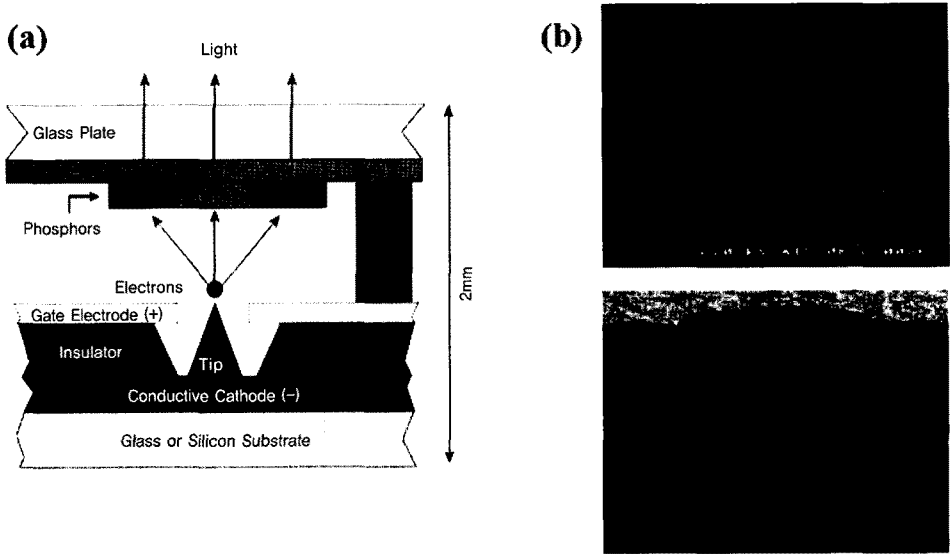
지만, <그림 2-1-1>에서 보여주듯이 열 전자 방출 원리를 이용하는 CRT의 전자 방출원와는 달리 전계 방출 원리를 이용한 전자 방출원으로 대체하여 기존에 CRT가 가지고 있는 장점(자체 광원, 높은 효율, 높은 휘도와 넓은 휘도 영역, 천연색 및 높은 색순도 등이 가능)에 전계 방출을 이용하는 진공 소자가 갖는 장점(매우 높은 효율, 방출된 전자의 낮은 scattering, 빠른 turn-on 시간, 콤팩트한 구조등이 가능)을 추가적으로 부여하여 CRT와 평판 디스플레이(Flat Panel Display, FPD)의 특징을 모두 갖추고 있는 유일한 디스플레이라고 평가받고 있다.

이러한 FED에 대한 시작은 Stanford Research Institute (SRI)에 Ken Shoulders가 FEA (Field Emission Array)를 기본으로 하는 전자빔 마이

크로 소자를 1960년에 제안한 것으로부터 시작되었으며, 처음으로 동작하는 FEA는 1968년 SRI에 Capp Spindt가 구현하였다. 현재 이 FEA 구조는 FED의 기본적 구조가 되고 있으며, <그림 2-1-2>는 FED의 기본 구조되는 Spindt-type의 전계 방출팁과 구조를 보여주고 있다. 이 구조를 보면, 각각의 FEA 셀은 마이크로 크기의 Spindt-type의 전계 방출팁을 가지고 있으며, 방출된 전자를 집속하기 위한 게이트 전극과 형광체가 도포되어 있는 양극 전극을 포함되어 있다. 동작 원리는 게이트와 팁 간에 일정 전압(수십 V) 인가되면, 전계 방출 현상에 기인하여 전자가 방출되며, 방출된 전자들은 더욱 큰 양극 전압(수백 V~수 kV)에 의해 형광체 내의 특정 원소 내에 있는 전자들



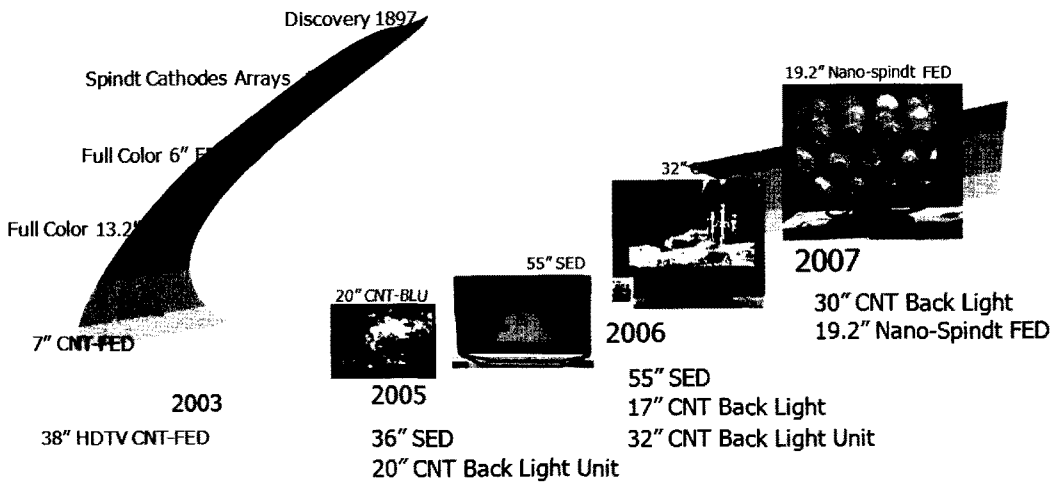
<그림 2-1-1> (a) CRT와 FED의 비교, (b) CRT의 구조, (c) FED의 구조
(자료: 차세대성장도력 디스플레이 사업단)



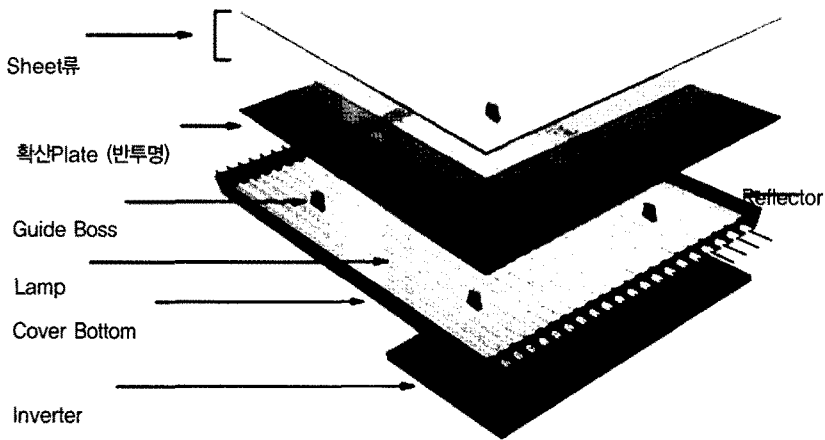
〈그림 2-1-2〉 (a) FED의 기본 구조도, (b) 실제 구현된 Spindt-type FEA

이 여기되었다가 떨어지면서 빛을 발생한다. FED의 발전 단계를 보면, 1991년 전계 방출팁으로 우수한 특성을 가진 탄소나노튜브(Carbon Nanotube, CNT)가 일본의 Sumio Iijima에 의해서 발견되면서, 종래에 사용되고 있던 Mo Spindt-type을 대체해 가고 있다.

이러한 수직 방향의 구조를 가지고 있는 FEA와는 다른 수평 방향의 구조를 가지는 SCE (Surface Conduction Electron-emitter) 방식은 1999년에 Toshiba와 Canon이 제휴하여 개발하기 시작해서 2006년에 풀 HD의 SED (Surface-conduction Electron-emitter Display)



〈그림 2-1-3〉 간략한 FED 발전 단계



〈그림 2-2-1〉 기본적인 BLU의 구조 (자료 : 희성전자)

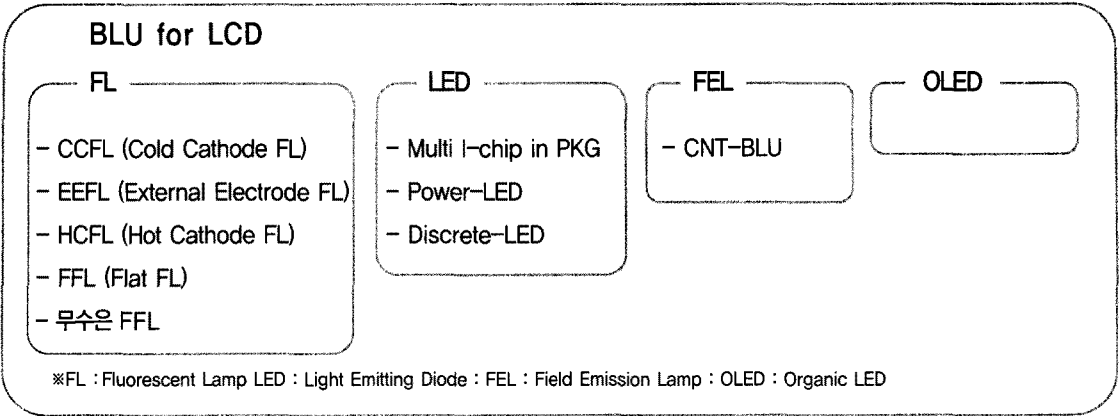
TV 시작품을 공개되었으며, 당시 이 시작품의 명료함은 색의 정확도를 가장 중시하는 사진 작가나 미술가에게는 이상적인 디스플레이라고 할 수 있을 정도의 성능을 과시하였다. 2007년에는 Sony의 자회사인 Field Emission Technologies가 Nano-spindt type의 19.2인치 FED TV를 발표하여, 많은 화제를 불러일으켰다. 그러나 2005년경부터 LCD 및 PDP TV의 가격 하락과 대형화가 예상했던 거보다 빠른 속도로 진행되고, 기대를 모았던 SED TV의 시장 진입이 늦어지면서 FED TV가 당초 소비자에게 준 기대가 약해지게 되었다.





이러한 사항 속에서도 FED의 진화는 앞으로도 계속될 것이 틀림없으며 2010년 이후 선진 각국이 점진적으로 아날로그 TV 방송을 중지하기 시작하면 구형 디스플레이와 신형 디스플레이가 치열한 접전을 벌일 것으로 예상되고 있어 앞으로의 FED 기술 개발의 결과가 어떻게 나타날지 적지 않은 흥미를 자아내고 있다.

2. Back light unit용 면광원

LCD (Liquid Crystal Display)는 기본적으로 비자발광 디스플레이로서 항상 후면에 밝고 고른 백색광을 공급해 주어야 한다. 이러한 역할을 해주는 부분이 <그림 2-2-1>에 나타난 바와 같이 반사판, 광원, 확산판, 광학필름으로 이루어진 BLU (Back Light Unit)이다.

BLU는 LCD 패널 가격 중에 높은 비중을 차지하고 LCD 패널에서 사용되는 소비전력 중 90%를 차지하기 때문에, BLU에 대한 기술 개발은 최근 큰 이슈가 되고 있다. 이러한 문제점을 해결하고자 여러 후면 광원이 연구되고 있으며, 효율이 높으며, 고휘도를 구현할 수 있으며 환경 문제에 대응될 수 있는 차세대 대체 광원으로서 LED, FEL, OLED가 주목받고 있다. 이 중 FEL은 FED의 동작 원리를 이용한 면광원으로서, 화상을 구현하기 위한 RGB 삼색의 화소로 패턴을 구성하는 FED와는 달리, 화상을 구현할 필요가 없기

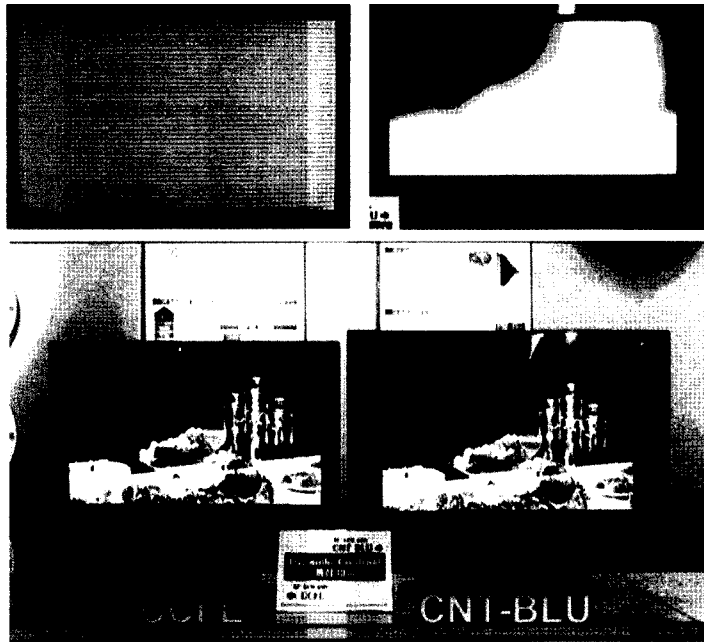


40" 기준		LED-BLU	CCFL	FFL	CNT-BLU 목표
소비전력 (W)		230	150	180	150
휘도 (cd/m ²)		8,500	9,000	9,000	15,000
균일도 (%)		85	75~80	90 이상	90 이상
색재현성 (%)		105	92	92	92
수명 (hrs)		50,000	30,000	35,000	30,000
Dynamic Control		Local Dimming Impulse Driving	제한적 Dimming	불가능	Local Dimming Impulse Driving
친환경성		無수은	수은 포함	수은 포함→無수은	無수은
구조					
주요	BLU 본체	LED : 수백개 DC-DC 컨버터 : 1개	CCFL : 16개 Inverter : 16개	면광원 : 1개 Inverter : 1개	면광원 : 1개 SMPS : 1개
	기타	LED 間 휘도편차 보정 회로	-	-	-
소재	Sheet	프리즘 Sheet : 2개 확산 Sheet : 1개 (도광판 : 1개) 반사 Sheet : 1개	프리즘 Sheet : 2개 확산 Sheet : 1개 반사 Sheet : 1개	프리즘 Sheet : 1개 확산 Sheet : 1개	프리즘 Sheet : 0~1개 확산 Sheet : 0~1개

〈그림 2-2-2〉 LCD BLU의 종류와 특성 비교 (자료: 삼성증권원)

때문에 FEL은 미세한 크기의 화소가 필요없으며, 백색 형광체 혹은 RGB 중 한 가지 형광체만으로 구성되기 때문에 그 구조가 간단하다. 최근 FEL은 전자 방출원으로 FED의 연구 동향과 유사하게 CNT를 사용한 연구 및 개발이 활발하게 이루어지고 있다. CNT-BLU

가 다른 BLU 특히 LED-BLU에 비해 그 구조가 단순하고, 별도의 광학부품도 필요하지 않아 두께를 1cm 이하로 얇아질 수 있으며, 구동하기 위한 구동 회로가 간단하다는 장점을 가지고 있다.



〈그림 2-2-3〉 CNT-BLU를 사용한 32인치 LCD 시제품 (자료: 삼성 SDI)

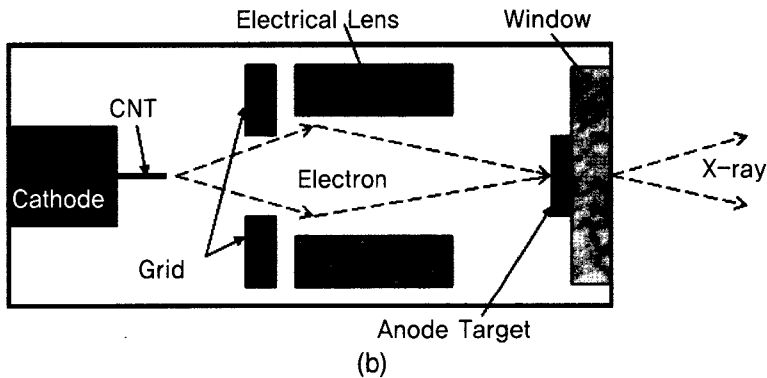
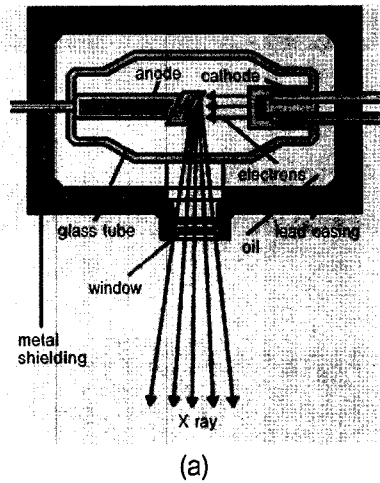
2006년에 삼성 SDI에서는 〈그림 2-2-3〉과 같은 32인치 LCD 패널에 CNT-BLU를 장착한 시제품을 선보였다. 이 시제품은 펄스전압을 인가하여 영상 신호에 맞추어 Back light 패널 전체에서 빛을 발산하게 하지 않고 국부적으로 빛을 발산하게 하는 local dimming 기술을 이용하여 100,000:1의 명암비를 갖으며 동영상 구현시 발생하는 motion blur 현상을 줄여 많은 화제를 불러일으켰다.

그렇지만 CCFL 대비 낮은 원가경쟁력, 생산성 문제 그리고 수명 문제는 여전히 해결하기 위한 과제로 남아 있어, 앞으로도 많은 기술 변화가 예측된다.

3. 의료 영상용 X-ray source

X-ray는 1895년 W. K. 뢰트겐이 진공 방전

연구 중에 우연히 발견한 것으로, 가속된 고속전자가 충돌할 때 발생하는 짧은 파장의 전자기파를 말한다. 이 X-ray는 물질에 대한 투과력이 우수하고, 굴절률이 거의 1에 가깝기 때문에 굴절에 의해 x-ray를 집중시키는 것은 거의 불가능한 특성이 있다. X-ray의 파장 영역은 0.01nm~10nm에 해당하는 전자기파를 말한다. X-ray의 물질에 대한 강한 투과력은 생체에 대한 어떤 종류의 효과의 발견 후, 의료 및 공업기술적인 면에서 응용이 기대되었다. 이러한 X-ray가 광범위하게 사용되기 시작한 것은, 1913년 W. H. Bragg 부자가 결정구조 연구에 X-ray 회절법(回折法)을 확립한 것과, 1913년 W. D. Coolidge가 X-ray의 양이나 투과력을 가감할 수 있는 열음극 X-선관(쿨리지관)을 발명하면서부터이다.



<그림 2-3-1> (a) 기본적인 X-ray 발생기(angular type) 및 (b) Transmission type X-ray 발생기
(자료: Smiths Heimann사)

<그림 2-3-1(a)>와 같이 기존에 의료진단을 위한 X-ray 발생기들은 열 전자 방출을 이용하기 때문에 2000℃의 온도를 발생시켜 부가적인 냉각장치가 필요하며 발생된 X-ray는 일정한 방향으로 나가지 않고, 여러 구조물에 충돌하여 산란되기 때문에 관용기를 필요로 한다. 이러한 이유에서 의료 영상용 X-ray 진단기는 거대하고 이동하기 어렵다는 단점을 가진다. <그림 2-3-1-(b)>에 나타낸 것과 같이 transmission type은 target과 X-ray 창이 일체형으로 되어 구조가 간단하고, 전자의 집속 정도를 증가시킬 수 있기 때문에 제한적으로 X-ray

방향을 결정할 수 있다.

<표 2-3-1>는 열전자 방출을 이용한 기존 X-ray 소스와 전계 방출을 이용한 CNT X-ray 소스를 사용한 의료진단에 대해서 비교정리해 놓은 것이다.

최근에는 CNT의 field emission을 이용한 X-ray source에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. CNT는 마이크로 크기의 시스템을 구성할 수 있기 때문에 소형 X-ray 진단기 제작이 가능하고, 주변기기의 간소화로 인한 장비의 저가가 가능하다. 또한 CNT는 spot size를 최소 수-수십 μm 로 만들 수 있을 뿐만 아니라 전류밀도

〈표 2-3-1〉 X-ray 방사선 장치의 기술 비교

특성	기존의 X-ray	CNT X-ray
사용파장	산란방사선 및 이차방사선(불 균일한 파장)	왜곡, 산란, 굴절이 없는 균일한 파장
해상도	저해상도(방사상)	고해상도(단일선)
기기제작비용	부속장치로 인한 제작비용이 높음	기존 X-ray보다 제작비가 저렴
판독 간편성	판독어려움(저해상도, 상의 왜곡과 중첩)	판독가능(고해상도, 국소적 부위의 이미지)
영상의 질	영상의 질이 낮음(이차적 진단기술 필요)	영상의 질이 높음(진단의 적중도 높음)
실용화(가격 및 유지 보수)	제작 비용이 높음, 별도의 방사선 촬영장소 필요	제작 비용이 저렴, 방사선촬영장소제작간편, 기기의이동이 용이

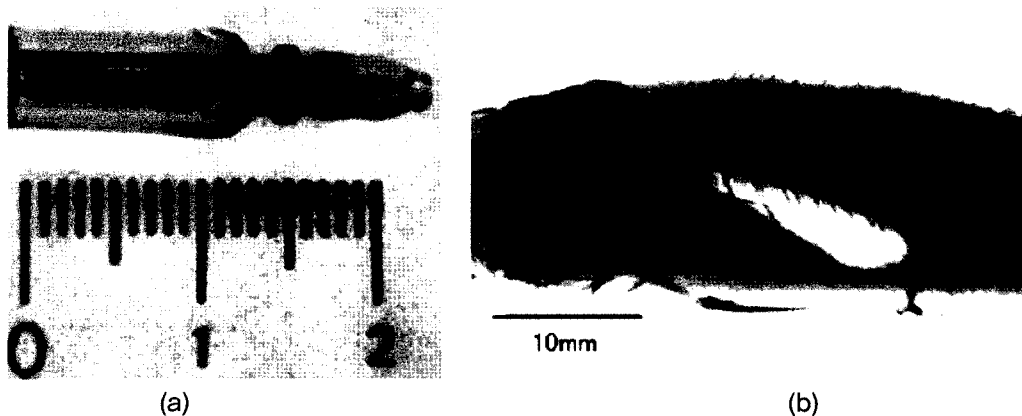
또한 매우 높기 때문에 고해상도의 이미지를 얻을 수 있고, 이를 이용한 전계방출은 평행한 방향으로 인해 X-ray 발생장치와 그 피사체 및 검출기 사이의 거리가 문제되지 않는다. 즉, 확대, 왜곡, 반음영 등의 문제가 적기 때문에 보다 정확한 진단이 가능하다.

차세대 X-ray 영상 기술은 RT(Radiation Technology), BT(Bio Technology), NT(Nano Technology)의 융합형 기술로 변형되어가고 있다. 기존의 광원 기술로는 정확히 검사할 수 없는 정밀 의료 진단 및 정밀 기계 부품의 미세 결함을 검사할 수 있는 신개념의 X-ray 광

원의 개발이 미래 산업의 핵심이 되어 가고 있다. 특히 CNT를 이용한 고효율 X-ray 소스 기술은 고해상도 영상 검출 소자에 관련된 기술과 더불어 차세대 X-ray 계측 검사 산업에서 가장 중요한 영역을 담당할 것으로 예상된다.

III. SID 2008 - FED review

올해로 46번째를 맞이하는 세계 최대의 디스플레이 축제인 세계정보디스플레이학회가 세계 엔터테인먼트의 중심지인 미국 로스엔

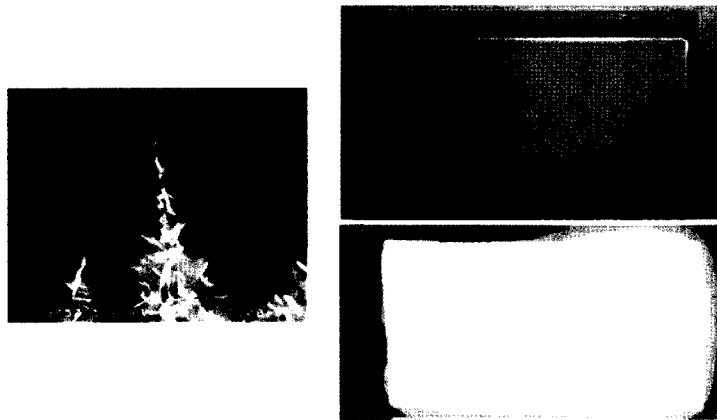


〈그림 2-3-2〉 (a) CNT를 이용한 소형 X-ray source와 (b) CNT X-ray source로 촬영한 물고기 피사체의 이미지 (자료: APL, vol. 85, p.5679와 Review of Sci. Inst., vol.78, p.013305)

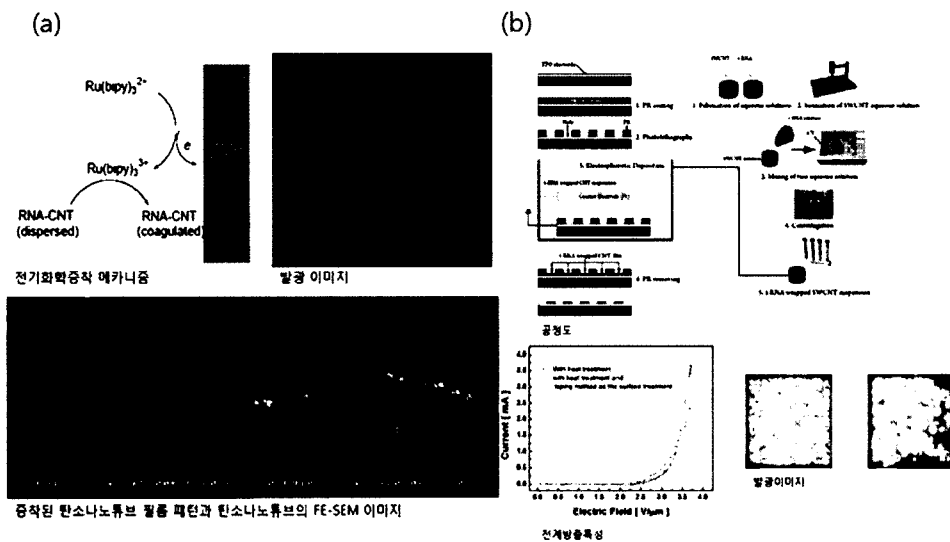
젤레스 컨벤션센터에서 5월 18일부터 23일까지 개최되었다. 이번 학회에서 LCD, PDP, OLED, E-paper에 대해 집중 조명되는 가운데 FED 분야에서는 포스터 6편, 그리고 구두 발표 9편 중 한국 4편, 일본 4편, 대만 6편, 미국 2편 등의 총 15편의 학술 논문이 발표되어 한국, 일본, 대만을 중심으로 연구 및 개발이 지

속적으로 이루어지고 있다는 것을 느낄 수 있었다. 본 원고에서는 발표된 학술 발표 논문 중 전계 방출원 제작에 관련된 논문을 선정하여 간단하게 살펴보았다.

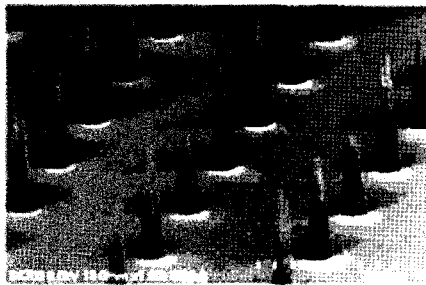
화학기상증착법을 통하여 많은 carbon nano-wall들이 carbon needle 주의를 감싸고 있는 구조를 가지며, 높은 중형비를 가질뿐만 아



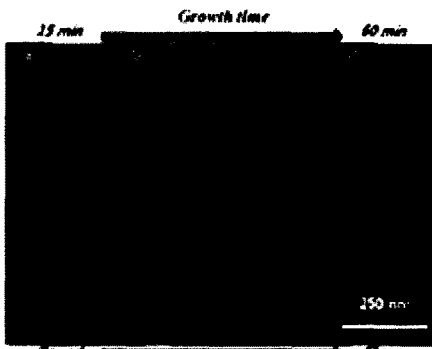
<그림 3-1> CNTX의 SEM 이미지와 제작된 패턴 (자료: Proc. SID 2008, p. 73)



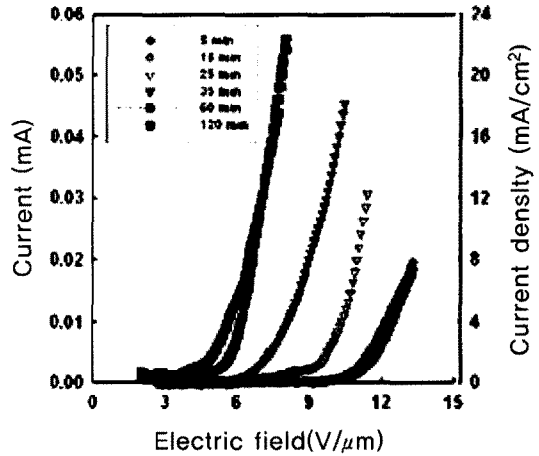
<그림 3-2> 핵산을 수용액을 사용하는 (a) 미국 Dupont 사의 전기화학증착법, (b) 고려대학교의 전기영동증착법 (자료: Proc. SID 2008, p.155, p. 1774)



합성된 CNT의 FE-SEM



성장 시간에 따른 tip 모양 변화



Growth time (min)	Turn on field (V/μm)	
	@ 1 μA/cm ²	@ 10 μA/cm ²
5	7.15	8.43
15	7.04	8.21
25	7.15	8.21
35	5.44	5.97
60	3.84	4.27
120	1.67	2.01

성장 시간에 따른 Turn-on field

<그림 3-3> Resist-assisted patterning process을 통한 CNT-FEA (자료: Proc. SID2008, p. 1784)

나와 좋은 기계적 특성을 가지는 carbon nanotube (CNT)라는 탄소 동소체를 합성하여 전계 방출형 램프 제작에 대해서 일본 Dilight-Japan Co., Ltd에서 발표하였다.

핵산 물질인 DNA와 RNA가 수용액 상태에서 CNT의 분산 특성을 개선할 수 있다는 특성을 이용하여 RNA와 CNT가 혼합된 수용액을 사용하여 전기화학증착법과 전기영동증착법으로 CNT 필름 및 패턴 정렬을 통한 전계 방출 램프를 제작하고 그 특성에 대해서 미국의 Dupont사와 고려대학교 디스플레이 및 나노시스템 연구실에서 각각 발표하였다.

Resist-assisted patterning process를 통한 새로운 CNT-FEA를 제작하고, 합성 시간에 따른

CNT 팁의 형태와 이에 따른 전계 방출 특성에 대해서 경희대학교에서 발표하였다.

<감사의 글>

본 내용은 과학기술부 2007 국가지정연구실 사업 (R0A-2007-000-20111-0)의 지원하에 작성되었습니다.

==== 참고 문헌 =====

- [1] Fursey and George, "Field emission in vacuum microelectronics", New York, Kluwer academic (2005).
- [2] 주병권, "FED 기술 개요 및 동작 원리", 월간 전자 부품, pp. 121 (2003.4)
- [3] 주병권, "FED 기술 강좌-진공 마이크로 일렉트로닉스", 월간 전자부품, p. 169 (1996.5)
- [4] 이종덕, "Field emission display," 서울대학교 (1998)
- [5] 차세대성장동력 디스플레이사업단, <http://www.displaycenter.org>
- [6] 유영준, "FED의 기술과 전망," 전자부품연구원 (전자정보센터) (2007.7)
- [7] 코모다 타쿠야, "알기 쉬운 FED," (주) 기술정보 (2006)
- [8] 박성목 et al., "백라이트 광원의 신기술 개발 동향," 금호전기 (주) 기술 연구소
- [9] 사업기획개발센터, "LCD BLU," 전자부품연구원 (전자정보센터) (2007.8)
- [10] 한인택, "Carbon nanotube for display applications," 삼성중기원 (2004)
- [11] 김현수, "Development of carbon nanotube based field emission back light unit," Proc. FEW 2007, p. 41 (2007.8)
- [12] 김용철, "Nanotechnology in SAIT," Proc. FEW 2007, p.129 (2007.8)
- [13] 윤권하 et al., "엑스선 광학과 바이오 의료 영상," 광학과 기술, 12권, 1호, p. 17 (2008.1)
- [14] 나노 기반 차세대 방사선 진단 기기 연구단, <http://ntxray.khu.ac.kr>
- [15] K. W. Kim et al., "Compact soft X-ray transmission microscopy with sub-50nm resolution," Phys. Med. Bio, p. 99 (2006)
- [16] Hong-Xing Wang et al., "Fabrication of high brightness flat field emission lamp with 6kV anode voltage for local dimming LCD BLU," Proc. SID 2008, LA, USA, p. 73 (2008.5)
- [17] Lap-Tak Cheng et al., "Electrochemical deposition of carbon nanotube films and applications in field emission display devices," Proc. SID 2008, LA, USA, p. 155 (2008.5)
- [18] Woo-Sung Cho et al., "Field emission properties of t-RNA wrapped carbon nanotube emitters," Proc. SID 2008, LA, USA, p.1774 (2008.5)
- [19] Je Hwang Ryu et al., "Enhanced electron emission with robust CNTs Grown by resist-assisted patterning process," Proc. SID 2008, LA, USA, p.1784 (2008.5)
- [20] Y.Sakai et.al., "Electron gun using carbon-nanofiber field emitter", Review of Scientific Instruments 78, 013305 (2007)
- [21] T.Nakazato et.al., "Biological Effects of Field Emission-type X-ray Generated by Nanotechnology", J.Radiat.Res., 48, 153-161 (2007)
- [22] S.Senda et.al., "Super-miniature x-ray tube", Appl.Phys.Lett., vol. 85, p. 5679 (2004)

저자소개



조우성

2002년 청운대학교 전자공학과 학사
 2004년 청운대학교 전자공학과 석사
 2004년~현재 고려대학교 대학원 전자컴퓨터공학과
 박사과정
 주관심 분야 : 전계방출디스플레이(FED), 탄소나노튜브



문승일

2000년 청운대학교 전자공학과 학사
 2002년 청운대학교 전자공학과 석사
 2008년 고려대학교 전자컴퓨터공학과 박사
 2004년~현재 고려대학교 BK21 정보사업단 Post-
 Doctorate
 주관심 분야 : MEMS, 화학 센서, 탄소나노튜브,
 X-ray 소스원

저자소개



여정완

2008년 동국대학교 반도체학과 학사
 2008년~현재 고려대학교 마이크로 소자 공학 협동
 과정 석사과정
 주관심 분야 : 전계방출디스플레이 탄소나노튜브,
 X-ray 소스원



주병권

1986년 서울시립대학교 전자공학과 학사
 1988년 서울시립대학교 전자공학과 석사
 1995년 고려대학교 전자공학과 박사
 1995년~2005년 한국과학기술원(KIST) 마이크로
 시스템 연구 센터 책임 연구원
 2005년~현재 고려대학교 전기전자전파공학부 부교수
 2007년~현재 국가지정연구실(디스플레이 및 나노시스
 템연구실) 운영
 주관심 분야 : Flat panel display(FED, OLED),
 MEMS, Nano-devices