

1. 서론

탄소 나노 튜브(Carbon Nano Tube: CNT)는 21세기 선도기술로 주목 받고 있는 나노미터 크기의 극미세 영역을 기반으로 하는 나노 테크놀러지를 대표하는 전략 핵심 소재 중의 하나로서, 최근에 이를 소재로서 이용뿐만이 아니라 적용 제품을 통해서도 실용화와 연결시키려는 노력이 활발히 진행 되고 있다. 탄소 나노 튜브를 전자 방출원으로써 적용한 광 소자, 즉 전계 방출 디스플레이(Field Emission Display: FED)와 형광 표시관(Vacuum Fluorescent Display: VFD)과 같은 전계 방출 평판 표시 소자(Field Emission Devices) 분야와 광원(Light source)이 주목을 받고 있으며, 최근에 이르러 그 연구 개발 결과가 시제품 수준에서 제품화 수준에 이르기까지 발

2. 탄소 나노 튜브 전자 방출원

2.1 탄소 나노 튜브

1985년에 Kroto와 Smalley가 탄소의 동소체(allotrope)의 하나인 풀러렌(fullerene: 탄소 원자 60개가 모인 것, C60)을 처음으로 발견한 이후, 1991년에 NEC의 Tsukuba 연구소의 S.Ijima가 고분해능 TEM(transmission Electron Microscope)을 이용하여 두 개의 탄소 전극간의 아크에 의해 발생된 탄소 부산물들을 관찰 중에 CNT를 발견하였다. CNT에서 하나의 탄소 원자는 3개의 다른 탄소원자와 sp^2 결합의 육각형 벌집무늬를 이루며 직경이 수 nm 정도이다. 이는 그림 1에 보인 바와 같이 다중벽 탄소 나노 튜브(Multi wall-CNT) 형태를 띄고 있었다.

특집 「디스플레이」

탄소 나노 튜브를 이용한 평판 표시 소자 및 광원 기술

이양두*, 이정아*, 문승일*, 박정훈**, 한종훈**, 유재은**, 백경갑*, 주병권*

표되고 있다. 즉, 전계 방출 디스플레이는 30 ~ 40인치급 저가격-고화질 중대형 텔레비전 시장에서, 광원은 고휘도-무수은을 특징으로 한 새로운 조명 기구로서 응용이 기대되고 있다. 본 고에서는 이와 관련된 기술인 음극 소재인 탄소 나노 튜브의 전자 방출원으로써의 특징과 양극 소재인 형광체 기술에 대해서 간략하게 소개하고 이를 이용한 평판 표시 소자 및 광원 기술, 그리고 국내외 연구 그룹들의 개발 동향 등에 대하여 분석하고자 한다.

1993년에 S.Ijima 그룹과 IBM의 Almaden 연구소의 D.Bethune 그룹에 의해 직경이 1 ~ 2 nm에 불과한 단일벽 탄소 나노 튜브(Single wall-CNT)가 발견된 이래로 현재에는 이중벽 탄소 나노 튜브(Double wall-CNT)에 이르기까지 발전을 거듭하여 오고 있다. 탄소 나노 튜브는 그림 2에 보인 바와 같이 탄소 원자들로 이루어진 육각형의 네트워크를 둥글게 말은 실린더 형태를 가진다. 흑연면(graphite sheet)이 감긴 각도에 따라 끝 부분이 지그재그(Zigzag) 모양과 팔걸이 의자(Armchair) 모양을 가질 뿐만 아니라 둥글게 말리어진 형태는 벽이 하나인 단일벽과 여러 개인 다중벽 구조를 형성하고, 튜브가 다발로 되어 있는 형태(Nano tube bundle), 튜브의 내부에 금속이 존재하는 형태(Metal-atom-filled nano tube) 등과 같이 여

* KIST 마이크로시스템 연구센터
** 일진나노텍(주)

탄소 나노 튜브를 이용한 평판 표시 소자 및 광원 기술

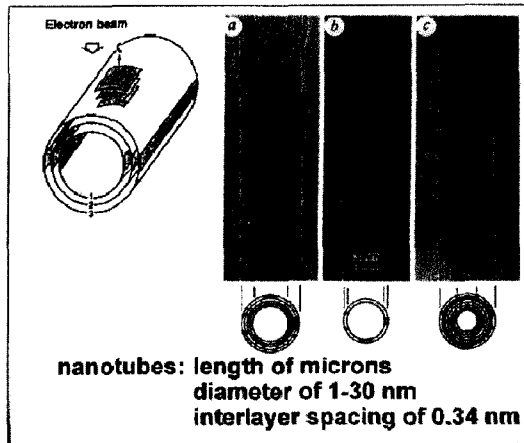


그림 1. 1991년에 Iijima에 의해 발견된 다중벽 탄소 나노 튜브

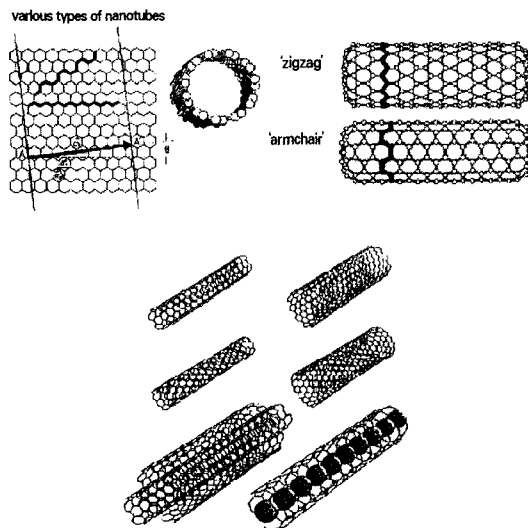


그림 2. 탄소 나노 튜브의 기본 구조

러 모양과 구조를 취할 수 있다. 이와 같은 구조들로 인해 전기적으로 금속 혹은 반도체적 특성을 선택적으로 가지게 되며, 매우 작은 직경으로 인하여 양자효과를 가진다.

이러한 탄소 나노 튜브의 특징을 단일벽 탄소 나노 튜브를 대상으로 하여 표 1에 요약하여 보았다. 즉, 직경이 수 nm로 리소그래피 공정으로는 구현할 수 없을 정도로 가늘어 단전자 소자나 양자 소자와 같은 초 미세 전자 소자를 구성할 수 있고, 인장 강도는 고강도 합금의 10~100 배 이상으로 고강도 섬유 소재로 활용할 수 있으며, 전계 방출 성능의 경우, 동작 개시 전압 및 내구성이 우수하여 고성능 전자총으로서 전계 방출 디스플레이와 광원 등에 이용할 수 있다. 아울러, 내부가 비어 있어 모세관(Capillary) 현상, 수소를 비롯한 기체 저장 및 감지 등에 활용할 수 있으며, NEMS(Nano-Electro-Mechanical Systems)의 주요 부품, 즉 나노 파이프, 피펫, 트위저, 도선 등에도 응용이 가능하다.

2.2 전자 방출원으로서의 특징

전계 방출 현상은 1897년에 Wood가 진공 용기 내에서 두 개의 백금 전극간에 생기는 아킹을 연구하는 과정에서 최초로 발견되었으며, 그림 3에 보인 바와 같이 진공 내에 있는 금속 표면에 0.5 V/Å 이상의 전계가 인가될 경우, 금속 표면의 전위 장벽이 낮아지면서 금속 내의 전자들이 양자 역학적으로 터널링하여 진공 내로 방출되는 현상을 일컫는다. 이때 전계 방출 전류는 식 (1)과 같은 Fowler-Nordheim(F-N) 식으로 표현된다. 여기서 J는 방출 전류 밀도(A/cm²), a와 b는 상수(실제로는 전계에 약간 의존함), E는 인가 전계(V/cm), 그리고 ϕ 는 일함수(eV)에

표 1. 탄소 나노 튜브의 특징

특 징	단일벽 탄소 나노 튜브(SW-CNT)	비 교
크 기	0.6 ~ 1.8 nm 직경	전자선 리소그래피에 의한 선폭 구현 ~ 50 nm
밀 도	1.33 ~ 1.40 g/cm ³	Al: 2.7 g/cm ³
인장 강도	4.5×10 ¹⁰ Pa	고강도 합금 ~ 2×10 ⁸ Pa
탄 성	힘 후 복원시 손상이 없음.	금속 및 탄소 섬유: 입계에서 휘어짐
전류 밀도	최대 1×10 ¹⁰ A/cm ²	구리선: 최대 1×10 ⁸ A/cm ²
전계 방출	1 ~ 3 V/μm turn-on 전압	Mo-tip: 50 ~ 100 V/μm Turn-on 전압
열 전 도 도	6,600 W/m · K	다이아몬드: 3,320 W/m · K
온도 안정성	2,800 °C(진공), 750 °C(대기)에서 안정함.	집적 회로내의 금속선: 600 ~ 1,000 °C에서 녹음.
가 격	\$500 ~ 1,000/g	금 ~ \$10/g

해당한다.

$$J = aE^2 \phi^{-1} \exp(-b\phi^{3/2}/E) \quad (1)$$

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

$$I = MV^2 \exp(-N/V) \quad (2)$$

(단, M과 N은 상수)

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

또한, 식 (1)로부터 작은 영향들을 무시한 상태에서 F-N 식을 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 증가한다는 것을 알 수 있다.

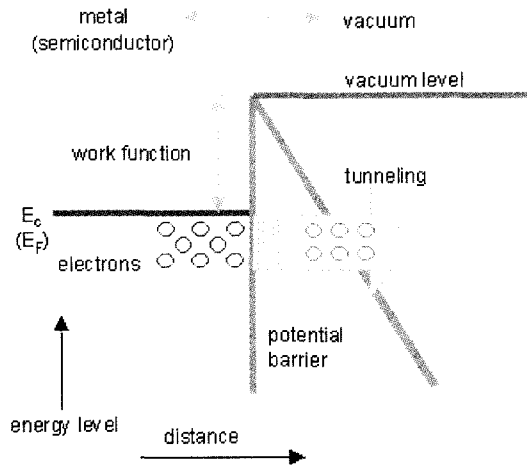


그림 3. 전계 방출 현상

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

따라서 전자 방출원을 설계할 때 방출원에 인가되는 전계가 최대가 되고 방출원의 일함수가 최소가 되도록 설계하는 것이 작은 인가 전압에서 큰 방출 전류를 얻는데 매

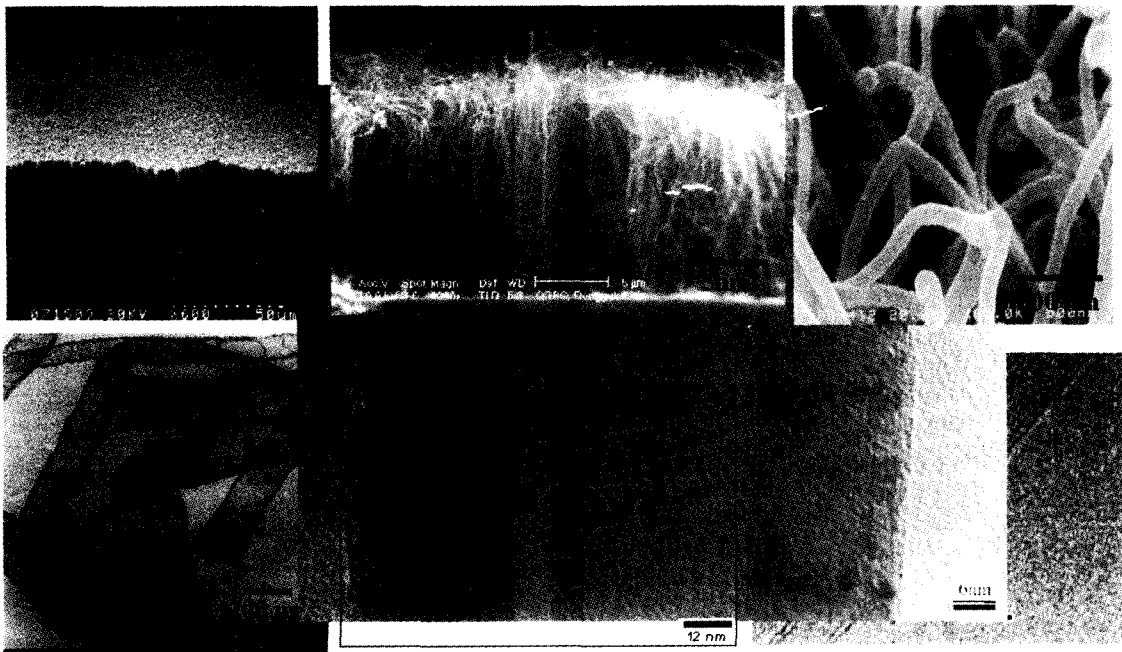


그림 4. 탄소 나노 튜브의 다양한 모양(KIST & 일진나노텍)

우 중요하다. 전계를 증가시키는 방법으로는 외부 인가 전압을 증가시키는 방법이 있으나 이는 주변 회로와의 매칭 및 절연 파괴 전압에 의해 제한되며, 방출부와 전극 간의 거리를 줄이는 방법은 리소그래피의 한계에 제한을 받는다. 따라서, 방출부의 형상을 변화하는 방법이 가장 효과적인데, 이에 관계되는 것이 전계 증배 계수 β 로 식 (5)에 나타낸 바와 같이 전극에 인가되는 전압(V)와 이로 인해 방출부에 인가되는 전계(E)의 비례 상수이다.

$$E = \beta V \quad (5)$$

$$\beta = kh/r \quad (6)$$

이 때, β 는 식 (6)에 나타낸 바와 같이 비례 상수(k)에 의해 방출부의 높이 h에 비례하고, 반경 r에 반비례하며 50~500 범위의 값을 갖는다. 즉, 그림 4에 보인 탄소 나노 튜브들의 모양과 같이, 끝이 높고 뾰족한 팁일수록 β 가 크고, 따라서 인가 전압(V)이 동일하더라도 방출부에는 큰 전계가 걸리게 된다.

또한, 일함수는 물질 자체가 갖는 고유의 값으로 재료의 개발을 통해 개선될 수 있다. 일함수가 낮을수록 방출 전류는 증가하지만, 전계 방출 재료로서 사용하기 위해서는 이외에도 열-화학-기계적 내구성, 재료의 온도 특성(온도 변화에 따른 일함수의 변화 추이), 그리고 팁 구조로서의 가공성 등이 고려되어야 한다. 결과적으로, 탄소 나노 튜브는 모양이 전자 방출에 유리한 바늘 구조로 되어 있고, 일함수 면에서도 금속 재료들에 비하여 유리한 특성을 지니고 있으며, 이와 함께 열, 물리, 화학적인 내구성도 높아 소자의 신뢰성과 수명 측면에서도 우수하다.

3. 형광체 기술

FED 및 광원의 신뢰성에 크게 관계하는 것이 전자 방출 원과 형광체이기 때문에 본 장에서는 형광체에 대하여 분석하였다. 형광체(Phosphor)는 형광체 내부의 낮은 에너지 궤도에 있던 전자가 전기 또는 자외선 등 에너지를 받아들여 일시적으로 높은 에너지 궤도로 이동했다가 다시 원래의 에너지 궤도로 떨어지면서 두 궤도간의 에너지 차이에 해당하는 에너지를 전자기파의 형태로 방출하는 물

질로, 이 때 방출 에너지가 우리 눈이 인식할 수 있는 가시광선으로 방출된다. 형광체를 응용한 대표적인 기기들은 광원과 디스플레이 분야가 있다. 형광등의 경우, 유리관에 아르곤 등 기체를 소량의 수은과 함께 밀봉하고 밀봉된 유리관 내부 양끝에 전자를 방출할 수 있는 음극(산화물 음극, cathode)을 위치시킨 구조를 하고 있다. 형광등에 전압이 가해지면 음극에서 전자가 방출되어 관내 수은 증기와 충돌하면서 자외선이 발생되고 이 자외선이 유리관 내벽에 형성된 형광막에 닿아 형광체가 가시광선을 발생하게 된다(Photoluminescence: PL). 영상 매체인 브라운관의 경우, 평평한 전면과 유리 깔때기 형태로 된 후면을 밀봉한 진공관 구조로 뒤쪽 깔때기 부에 위치한 음극(산화물음극, cathode)에서 발생된 전자선이 평평한 전면 유리벽 내부에 형성된 형광체막에 부딪쳐서 가시광선을 발생시키게 되어있다(Cathodoluminescence: CL). 통상 지금까지 형광체 응용 예를 보면 PL은 형광등 같은 조명용으로, CL은 FED나 브라운관 등 영상 매체용으로 쓰였으나 플라즈마 디스플레이(Plasma Display Panel: PDP)의 경우 영상 매체지만 PL에 의한 발광원리를 응용한 것이다.

국내외적으로 CNT를 이용한 CL 광원용 형광체 개발은 이루어지지 않고 있으며, 현재 CNT를 이용한 광원에 사용되는 형광체는 음극선관(Cathode Ray Tube: CRT)용 형광체이거나, CRT용 형광체를 개조한 FED용 형광체이다. 표 2는 국내외 주요 형광체와 시판되고 있는 형광체 현황을 보여 주고 있다.

4. 디스플레이 및 광원의 응용

4.1 디스플레이 응용

탄소 나노 튜브를 이용한 전계 방출 디스플레이(CNT-FED)는 제 1세대 소자인 박막 및 반도체 공정을 토대로 한 금속 팁 전계 방출 디스플레이가 신뢰성과 수명을 중심으로 한 성능, 화면의 크기, 그리고 가격 및 시장면에서 한계를 나타내면서 연구 개발이 급격히 진행되고 있다. 이와 같이 전계 방출 디스플레이가 대화면화와 저가격화를 강하게 추구하게 된 배경에는 소형 디스플레이 분야에서의 유기 전계 발광 디스플레이(Organic Light Emitting

표 2. 국내의 주요 형광체 업체와 시판되고 있는 형광체

업체	램프	램프용 blends	PDP	FED	CRT	VFD	LED	X-ray용	EL
KASEI	■		■	■	■	■	■	■	
OSRAM	■	■	■	■	■		■	■	■
SYLVANIA									
NICHIA	■	■	■		■		■	■	
Toshiba	■				■			■	■
Philips	■	■							
GE	■	■							
Luminophor	■				■	■	■		
LG 화학	■		■		■				
삼성 SDI	■				■	■			

Display: OLED)의 빠른 등장과 박막 트랜지스터 액정 디스플레이(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display: TFT-LCD) 및 플라즈마 디스플레이(Plasma Display Panel: PDP)의 중 대형 영역 다름에 따른 일부 공동화 영역의 발생이 중요한 원인 제공 요소인 것도 확실하다. 결과적으로 전계 방출 디스플레이가 대화면 및 저가격을 지향함에 따라 전자 방출원의 신뢰성 및 수명 향상, 대형 유리 기판 및 후막 공정의 적용, 그리고 기존의 음극선관 디스플레이(Cathode-Ray Tube)와 플라즈마 디스플레이 기반 공정 및 라인의 적용 등을 추구하게 되었다. 또, 표 3을 보면 FED가 다른 디스플레이와 비교하여 넓은 시야각을 가지면서 고선명, 구동 전압이 낮고, 박형화가 가능하여 탄소 나노 튜브 전자 방출원을 통하여 이에 대한 활로를 모색하고 있다.

탄소 나노 튜브를 이용한 전계 방출 디스플레이는 기본

표 3. 각종 디스플레이 성능 비교

	FED	LCD	CRT	EL
Low Cost	●		●	
Wide Viewing Angle	●		●	●
Rugged	●			●
Sharpness	●		●	
Low Power	●	●		
High Resolution	●	●	●	
Thin	●	●		●
Lightweight	●	●		●

적으로 그림 5에 보인 모양을 갖는다. 즉, 일반적인 금속 팁을 이용한 구조에서 폴리브덴 팁을 탄소 나노 튜브 방출원으로 대체한 구조이며, 탄소 나노 튜브가 갖는 소재와 공정 특수성으로 인하여 음극 부분에서 소재 및 제조 공정, 그리고 구조상의 변형은 있을지라도 음극 및 게이트 전극의 역할, 양극 구조, 스페이서를 비롯한 진공 패키징

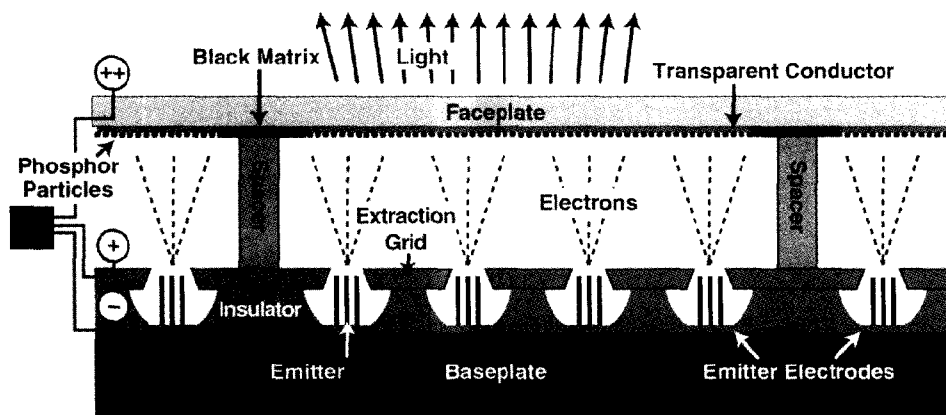


그림 5. 탄소 나노 튜브 전계 방출 디스플레이의 기본 구조

탄소 나노 튜브를 이용한 평판 표시 소자 및 광원 기술

표 4. 각종 광원의 성능 비교

종 류	광원효율 (lm/W)	시스템효율 (lm/W)	소비전력 (W)	CRI ¹⁾	수명 ²⁾ (h)	친환경성 ³⁾	시스템가격 ⁴⁾ (천원)
백열전구류	10 ~ 20	10 ~ 20	30 ~ 1,000	100	1,000	○	15 ~ 100
3파장 형광램프	90	85	32 ⁵⁾	> 85	8,000	×	50 ~ 100
메탈할라이드 램프	85	80	> 70	> 80	8,000	×	> 100
고압나트륨 램프	110	100	> 50	> 30	12,000	×	> 100
무전극 방전램프	85	80	저압형: 수십W 고압형: 수kW	> 85	60,000	× ⁶⁾	> 700
LED	30	29	0.05	> 70	50,000 ⁷⁾	○	-
EL	2	1.9	0.005	> 70	3,000	○	-
CNT 광원	120	115	24 ⁵⁾	> 85	20,000	○	50 ~ 100

- 주) 1. CRI : Color Rendering Index(연색성지수) 2. 70% 광속감퇴 시점까지의 시간 3. 수은함유 여부
 4. 광원, 점등장치, 등기구 포함 가격 5. 일반 T10 40W 형광램프 대응
 6. 수은 함유, 고압형인 경우 저출력형이 없음. 현재 1kW급 이상.
 7. 정상온도 동작 경우 가정(고온동작시 수명 급격 저하)

표 5. 각종 광원의 특성 비교

종 류	장 점	단 점	비 고
백열전구류	고연색성, 소형 단순한 점등회로, 저렴, 조광가능	저효율 단수명	일반 조명용
3파장 형광램프	고효율 장수명	램프 크기가 상대적으로 큼 온도의 영향, 조광난이 수은 함유	일반 조명용 옥내용
HID 램프	고효율 장수명	점등, 재점 등에 시간이 걸림, 조광난이, 수은함유	일반 조명용 옥외용
무전극 방전램프	초장수명 고효율 조광가능	항전구의 경우 대소비전력 고가의 광도광관	신광원 옥내외 겸용 국외: 상용화 국내: 개발중
LED	초장수명 초소형, 조광가능 무수은, 친환경	저효율, 고효율화 연구 중 저소비전력 민감한 온도특성	신광원 국외: 일부 상용화 국내: 개발중
EL	박형, 평면, 자유형상가능 조광가능 무수은, 친환경	저소비전력 유기EL의 경우 단수명	신광원 국외: 시제품 생산 국내: 개발중
신광원 CNT	고효율, 장수명 박형 및 자유 형상 가능 조광가능 무수은, 친환경	전자 여기 형광체 분야 미성숙 CNT소재가 상대적으로 고가 최초시도로 위험요인 미지	신광원 국외: 개발중 국내: 개발중

구조, 그리고 구동 방식 등은 전반적으로 3극관형 전계 방출 디스플레이의 기본 원리와 구조를 따른다.

4.2 광원 응용

1870년 에디슨이 탄소 필라멘트 백열전구를 개발한 것은 인류에게 빛의 혁명을 주는 계기가 되었고, 1940년 초 형광등이 출현하면서 또 한번의 일대 변혁이 일어나게 된

다. 개발된 형광등은 백열전구와 더불어 가정 및 산업분야에서 매우 중요한 광원으로 자리 잡게 된다.

최근의 광원분야에 대한 연구개발은 태양광에 보다 가깝고 에너지효율이 높은 제품 개발과 환경에 대한 중요성이 강조되면서 배출되는 수은의 양(형광등 1개당 평균 25mg 수은 함유)이 적은 친환경적인 광원 개발이 절실했다. 이러한 단점을 극복하며 최대의 효율을 제공할 수 있는 제품의 연구는 지난 과거부터 지속적 수행되어 왔으며 선진

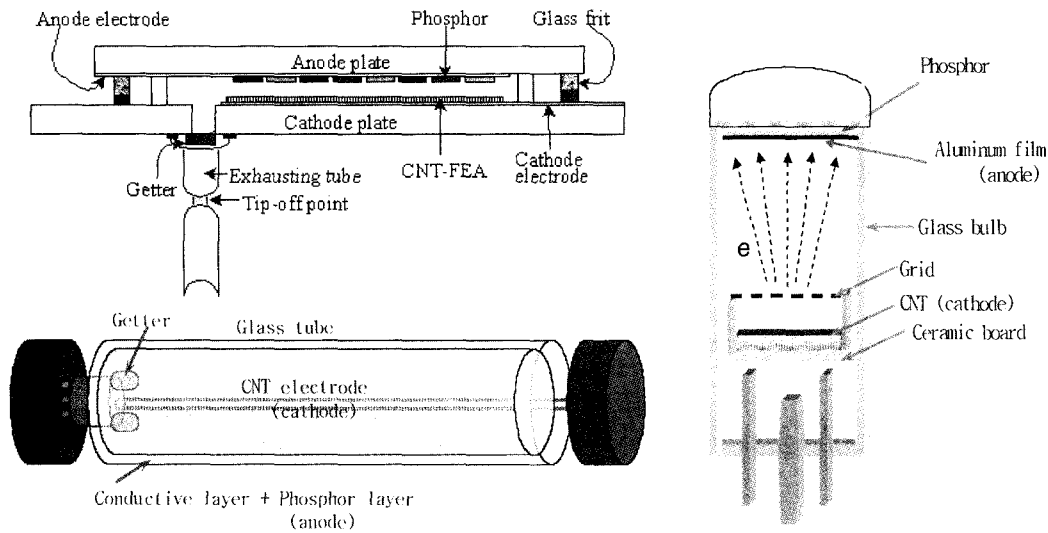


그림 6. 탄소 나노 튜브를 이용한 광원의 종류 (평면형, 벌브형, 직관형)

기업들은 미래의 큰 수요 시장을 선점하기 위한 기술 개발에 주력하고 있다. 이러한, 기술개발에 의해 최근 보고되고 있는 대표적인 차세대 발광 소재 분야는 CNT 이용한 광원 분야라 할 수 있다. 표 4와 5에서 알 수 있듯이, 이들은 에너지효율이 높을 뿐만 아니라 환경 친화적이고 효율, 연색성, 수명에서 우수한 특성을 가지고 있다.

현재 연구되고 있는 광원의 형태는 그림 6에 보인 바와 같이 디스플레이 구조와 유사한 평면형 광원, 램프 구조를 갖는 벌브형 광원, 그리고 형광등 형태를 갖는 직관형 광원 등으로 구분할 수 있으며, 용도에 따라 모양이나 성능이 매우 다양해질 수 있다. 탄소 나노 튜브 광원을 개발하기 위해서는 높은 밀도의 전자를 방출하기 위한 탄소 나노 튜브 소재 기술, 탄소 나노 튜브의 성장과 프린팅, 그리고 금속선과 같은 임의의 모양에 도포하기 위한 기술, 고휘도와 장수명을 특징으로 한 형광체 소재 및 도포 기술, 특수한 모양의 유리관을 진공으로 패키징 하기 위한 기술, 그리고 구동 회로 및 등기구와 같은 주변 지원 기술 등의 개발에 초점이 맞추어져야 한다.

5. 국내외 연구개발 동향

나노기술에 있어서는 우리나라도 최고의 수준이므로, 각 기관들은 서로 앞을 다투어 개발에 박차를 가하고 있다.

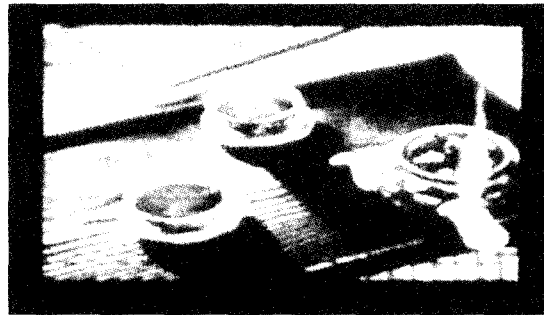


그림 7. 32인치 3극형 탄소 나노 튜브 전계 방출 디스플레이 패널의 동작 모양 (삼성)

삼성 SDI는 screen printing법으로 탄소나노튜브를 '전자총'으로 사용하는 7인치 FED를 개발해 2001년에 일본 오사카에서 열린 심포지엄에서 시연(試演)했고, 현재에는 32" FED를 개발한 바 있다(그림 7). KIST와 일진나노텍은 2002년부터 공동으로 탄소 나노 튜브를 이용한 평면형 광원을 연구하여 오고 있다. 이의 구조 및 발광 모양(빨강, 초록, 파랑)을 그림 8에 모였는데, 이때 사용되는 탄소 나노 튜브 음극은 화학 기상 증착법(Cheical Vapor Deposition)에 의한 성장이나 합성 후에 스크린 프린팅을 이용하여 제작되며, 양극으로는 음극선관용 형광체가 도포된 유리 기판을 적용하였다. 휘도는 15,000cd/m² 이상을 얻을 수 있다. (주)세한에서의 2년간의 연구, 신규법인 나노퍼시픽으로 창업후 1년간의 개발 등 총 3년간의 연구 개발의 결과로 스크린 프린팅법으로 최근 4.5" 및 5.7"

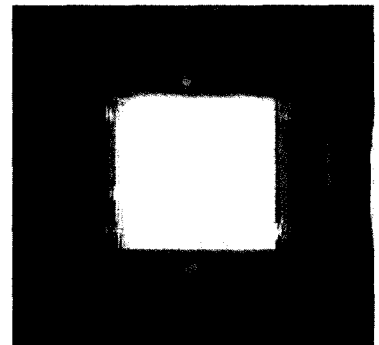
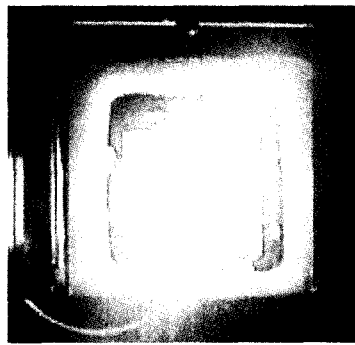
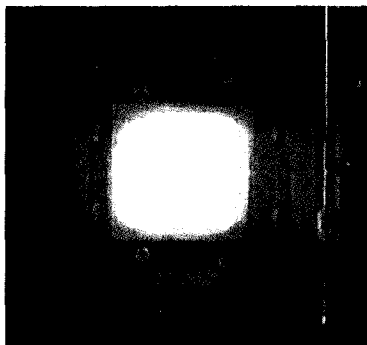
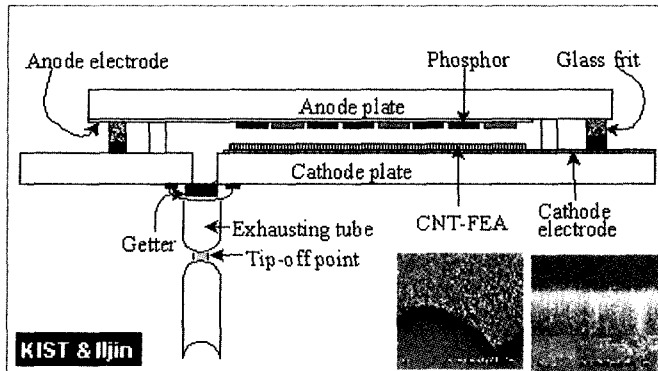


그림 8. 평면형 광원의 구조 및 동작 모양(KIST & 일진나노텍)

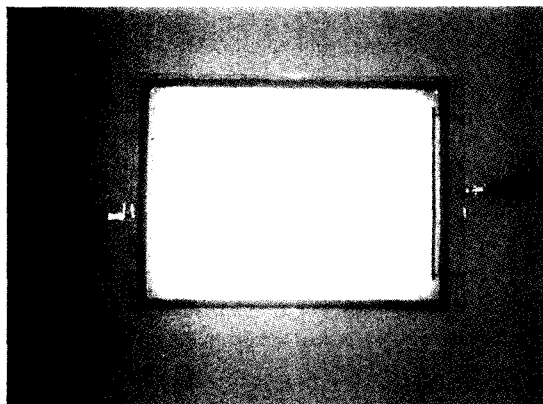


그림 9. 5.7" CNT-평면 광원의 Prototype 발광 사진(나노퍼시픽)

CNT-평면 광원의 Prototype을 시제작하는 데 성공하였고, 최대 발현 휘도 $20,000\text{cd/m}^2$ 를 보였다(그림 9).

외국의 경우 많은 그룹이 카본 나노 튜브를 이용한 전계방출 소자에 대한 활발한 연구를 진행하고 있으며, 일본의 경우 Noritake Itron Corp.(Ise Electronic)의 CNT를 이용한 냉음극 벌브형 램프 및 열화학기상증착법(thermal CVD)로 CNT를 성장시켜 3.7인치 패널(화소

$1\text{mm} \times 1\text{mm}$)을 제작하여 RGB 그래픽 이미지를 선보였다(그림 10). 오사카 대학에서는 전기영동법(electrophoresis)을 이용한 FED 및 LCD-backlight를 개발 중이며, Mitsubishi Electric는 스크린 프린팅 방법을 이용한 CNT lighting tube(Large-scale Field Display : 64 pixels, 256 dots, 휘도 3000cd/m^2) 개발 결과를 발표하였다(그림 11). 미국의 경우는 SI Diamond에서 출자한 Applied Nanotec에서 CNT를 이용한 광원, 옥외광고판 및 Field emission display(Hybrid FED: HyFE)개발 중이며(그림 12), Motorola와 DuPont 등에서도 연구를 진행 중이다. 유럽의 경우는 스위스 EPFL에서 CNT를 이용한 luminescent lamp를 개발하였으며(그림 13), EC(European Commission)를 중심으로 CNT 전계방출 표시소자의 개발을 위한 컨소시엄 형태로 연구(CANADIS, TAKOFF등)를 진행하고 있다. 러시아 Institute of Theoretical and Experimental Physics, Moscow State University 에서는 nano-carbon(nC) thin film를 이용한 직관형 이극관 램프(그림 14)를 제작한 바 있다. 그 외 중국 Zhongshan University의, 싱가포르 Nanyang

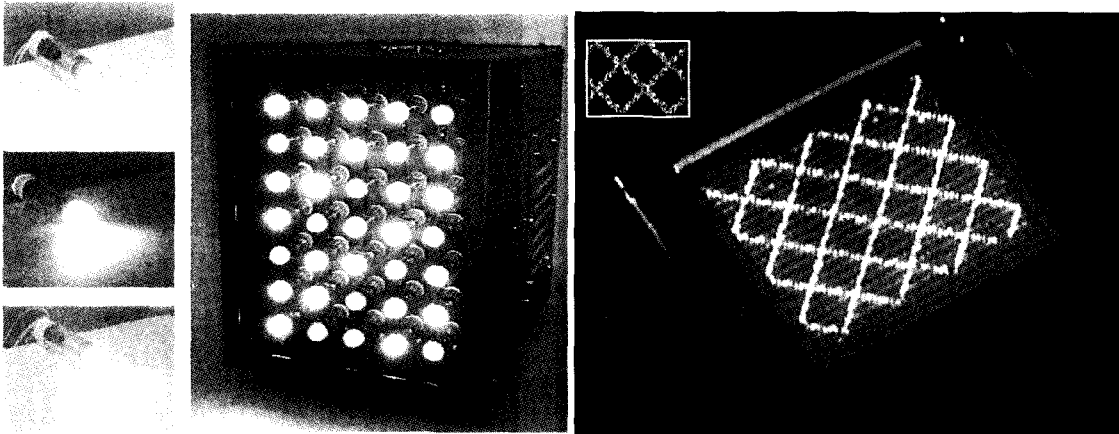


그림 10. 냉음극 벌브형 램프와 3.7인치 패널 RGB 그래픽 이미지(Noritake Itron)

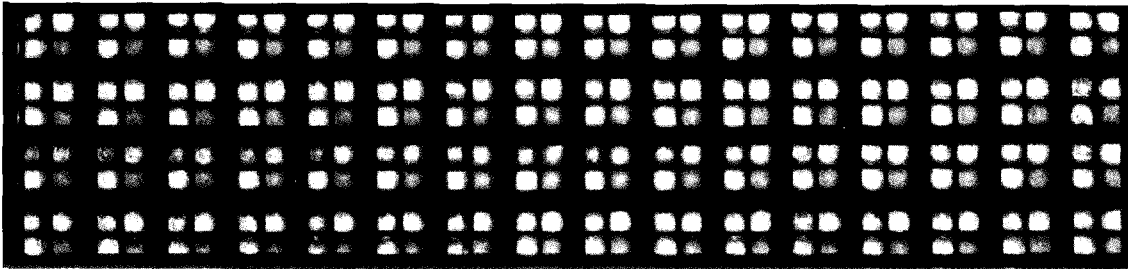


그림 11. 탄소 나노 튜브 광원 튜브(Mitsubishi Electric)

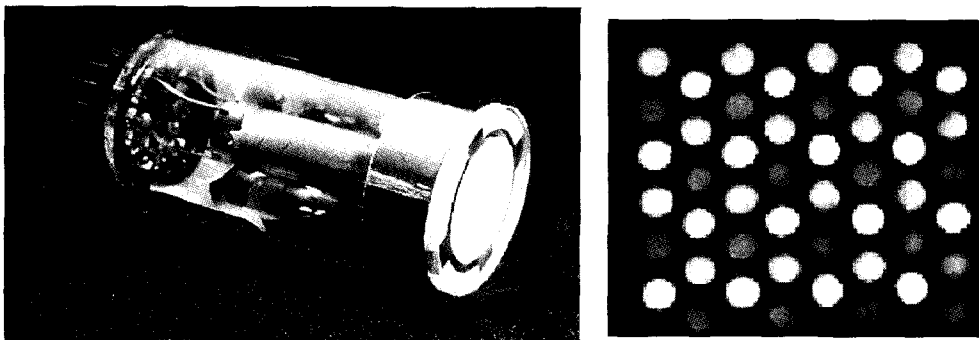


그림 12. 대형 전광판용 벌브형 광원(Applied Nanotech)

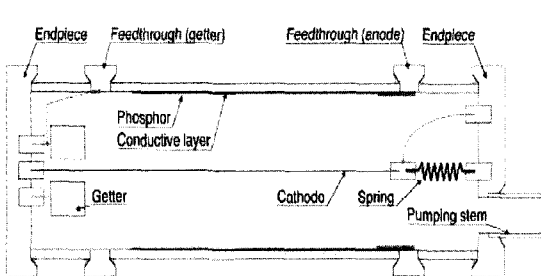


그림 13. 형광등 대체를 위한 직관형 광원(EPFL)

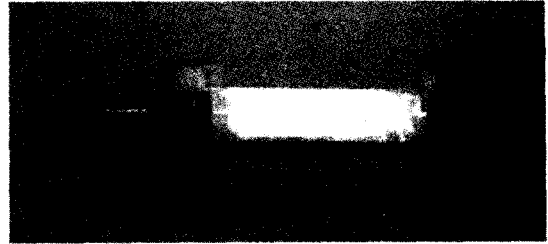
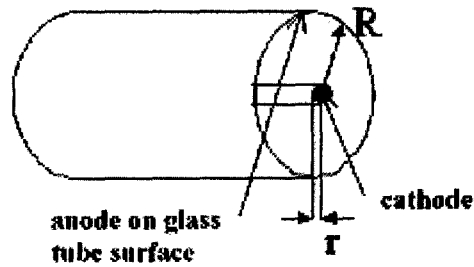


그림 14. 직관형 이극관 램프 (Moscow State University)

Technological University과 대만 Industrial Technology Research Institute 등에서 간단한 문자 표시용 평면형 광원을 발표한 바 있다.

6. 결론

탄소 나노 튜브는 나노 시대를 열어갈 가능성 있는 신소재로서 나노 크기, 기하학적 모양 및 크기, 강도, 유연성, 탄성도, 도체 및 반도체성, 그리고 전계 방출 특징이 있으며, 현재 실용성과 생산성도 입증될 수 있는 단계에 이르고 있다. 이들 중 전자 방출 특징을 기반으로 하여 제품화에 강하게 접근하고 있는 분야가 평판 표시 소자 즉 디스플레이와 광원이며, 이는 대면적, 저가격, 친환경성을 요구하는 세계적인 추세에도 부합되고 있다. 물론, 수직 배향성과 균일성, 게이트의 형성 및 배치, 초기 구동전압

이 높고, 수명이 짧다는 점, 형광체의 열화, packaging 후 진공유지 및 시스템 가격 등에서 해결하여야 할 문제점들이 적지는 않지만, 이는 우리 연구자들의 노력에 의해 충분히 해결할 수 있다고 판단된다. 나노테크놀로지의 도래와 더불어 제품화와 상업화가 가능성이 있는 평판 표시 소자와 광원의 발전을 기대해 본다.

참고 문헌

- (1) 주병권, "Field emission display의 최신 기술 분석," 월간 전자부품 (계재 예정).
- (2) 주병권, "탄소 나노 튜브 광원의 연구 개발 동향 분석 및 전망," KIST 분석 자료 (2003.3.).
- (3) 주병권, "CNT - Field emission display 기술," LG 전자 디지털 디스플레이 연구소 발표 자료 (2003.1.).
- (4) 주병권, "탄소 나노 튜브," 월간 전자부품, pp.129-139 (2002.1.).
- (5) 나노산업기술연구조합 "CNT를 이용한 고효율 신광원 기술 분석" (2003.3).



이양두

2002년-현재 KIST 마이크로시스템 연구센터, 학생연구원,
고려대학교 재료공학과 박사과정
1999년 부경대학교 재료공학과 석사
1997년 부경대학교 재료공학과 학사
E-mail: foryou@kist.re.kr
관심분야: Field emission display, carbon nanotube



이정아

2003년-현재 KIST 마이크로시스템 연구센터, 위촉연구원
1996년 한양대학교 물리학과 석사
1993년 경원대학교 물리학과 학사
E-mail: ageless@kist.re.kr
관심분야: Field emission display, solid state physics,
carbon nanotube



문승일

2002년-현재 KIST 마이크로시스템 연구센터, 학생연구원,
고려대학교 전자공학과 박사과정
2002년 청운대학교 전자공학과 석사
2000년 청운대학교 전자공학과 학사
E-mail: moonseil@kist.re.kr
관심분야: Carbon nanotube, MEMS



박정훈

2000년-현재 일진나노텍(주), 연구원
2000년 군산대학교 전기공학과 석사
1998년 군산대학교 전기공학과 학사
E-mail: cnt-park@ijjin.co.kr
관심분야: Field emission display, carbon nanotube 합성



한종훈

2000년-현재 일진나노텍(주), 책임연구원
2003년 RICE University Post-Doc
1999년 포항공과대학교 대학원 화학공학과 박사
E-mail: jhhan@ijjin.co.kr
관심분야: Field emission display, carbon nanotube 합성/
분산



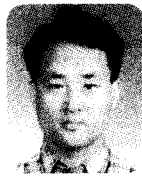
유재은

2000년 한양대학교 대학원 재료공학과 박사
1993년-현재 일진나노텍(주), 연구소장
1992년 KIST 연구원
E-mail: lionyoo@ijjin.co.kr
관심분야: Field emission display, carbon nanotube 합성



백경갑

2003년-현재 한국과학기술연구원 마이크로시스템 연구센터,
방문교수
1994년-현재 대전대학교 전자공학과 부교수
1994년 고려대학교 대학원 전자공학과 박사
E-mail: kkpaek@daejin.ac.kr
관심분야: Carbon nanotube, RF-MEMS, Bio-MEMS



주병권

1996년 고려대학교 대학원 전자공학과 박사
1988년-현재 KIST 마이크로시스템 연구센터, 책임연구원
1996년 Univ. South Australia(Australia) 방문연구원
E-mail: jbk@kist.re.kr
관심분야: Flat panel display(FED, OLED), MEMS,
nano-devices