

# 전계방출광원용 듀얼 에미터 특성 연구

(The dual emitter structure for field emission light source)

김광복\* · 이선희 · 박호섭 · 양동욱 · 김대준

금호전기(주) 기술연구소

(Kwang-bok Kim\* · Sun-Hee Lee · Ho-seop Park · Dong-Wook Yang · Dae-Jun Kim)

## Abstract

The field emission lamps have the advantages to their cold cathode-characteristic and the eco-friendly. We realized that the dual emitter system showed very simple structure which gate and cathode electrodes are formed on the same glass surface. In this paper, we reported the properties of dual emitters depended on variation of gate width and spacing for optimum panel structure. In combination of dual emitter structure and bi-polar driving, electron beam spreads more than normal gate structure or diode structure, and emission uniformity increased in dual emitter structure at 5°-diagonal.

## 1. 서 론

전계방출광원은 무수한 친환경 광원으로 박형화가 가능하며, 새로운 형태의 디자인 창출이 가능한 차세대 신 광원으로 현재 국·내외에서 연구개발이 가속화되고 있다[1-3]. 그림 1에 전계방출광원의 모식도를 나타내었다. 전계방출광원의 동작 원리는 진공 중에서 캐소드와 아노드 사이에 일정한 전압차를 주어 전계를 형성시키고, 이 전계에 의해 캐소드에 형성된 에미터로부터 냉 전자들이 양자역학적으로 터널링되어 진공 중으로 방출하게 된다[4]. 방출된 전자들은 더욱 큰 아노드의 전압에 의해 형광체가 도포되어 있는 아노드 쪽으로 가속되어지고, 이 전자들이 형광체에 충돌하여 에너지를 형광체에 전달하면 형광물질내의 에너지 변환에 의해 가시광선을 내게 된다[5].

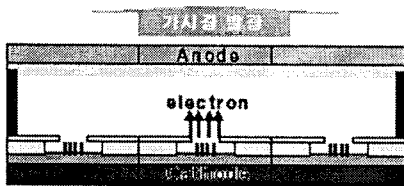


그림 1. 나노 카본계 전계방출광원의 구조  
Fig. 1. Structure of field emission lamp with nano-carbon emitter

전계방출광원의 전자 방출원으로는 Spindt형 tip[6], SCE(Surface Conduction Emitter)[7], MIM(Metal Insulator Metal)[8], BSD(Ballistic electron Surface emitting Device)[9], 및 CNT(Carbon Nano Tube)[10,11] 등이 있다. 카본나노튜브는 물리적, 화학적, 구조

적 안정성과 낮은 일함수 등의 특징을 가지고 있으며, 높은 aspect ratio, 높은 전기적 전도도등과 같은 특성을 가진다[12,13]. 이에 카본나노튜브가 가장 이상적인 전계 방출소자로 평가되어지고 있다[14,15].

본 연구에서는 스크린 프린팅 법을 사용하기 위해 CNT를 페이스트화 하였다. 스크린 프린팅 법은 대면적에 쉽게 적용할 수 있는 장점이 있으며 이미 다른 디스플레이 산업에서 검증된 제작 기술이다.

전계 방출원의 형성 방법으로는 기관 직접 성장법과 카본나노튜브를 페이스트 상으로 제조하여 스크린 마스크를 이용하여 인쇄하는 스크린 인쇄법이 있다. 스크린 인쇄법은 가격이 저렴하며, 대면적 공정이 쉬운 장점을 가지고 있어 널리 사용되고 있다. 그러나 인쇄방법으로 전계방출원을 형성할 경우 페이스트내의 카본나노튜브가 전계방출에 기여하기 쉽도록 표면처리 공정을 수행해야 한다. 표면처리 공정에는 laser 조사법[16], 접착성이 있는 테이프를 이용한 taping 법[17], 롤링법[18] 등이 사용되고 있다.

전계방출 광원은 전자원이 형성된 캐소드와 형광체가 형성된 아노드로 이루어지는 이극(Diode) 구조와 게이트를 추가하여 전자 방출 효율 향상을 기대할 수 있는 삼극(Triode) 구조로 구분할 수 있다. 삼극 구조의 경우 게이트 조절에 의해 전자빔의 집속 및 전자빔 궤적 조절이 용이한 장점을 지니고 있다. 게이트의 구조에 따라 게이트가 캐소드 보다 아래에 위치하는 under gate 구조, 게이트가 캐소드와 평행하게 위치하는 Lateral gate 구조, 게이트가 캐소드 보다 위에 위치하는 Top(normal) gate 구조로 나눌 수 있다.

본 논문에서는 게이트가 캐소드와 평행하게 위치하는

Lateral gate 구조이면서, 게이트와 캐소드 모두에 전자 방출원이 위치하는 듀얼 에미터에 대해 논하려 한다. 게이트와 캐소드의 전자 방출 면적 및 전자빔의 퍼짐을 유도하기 위하여 게이트와 캐소드 사이에 바이폴라 펄스를 인가하고, 아노드에는 고전압 DC를 인가하는 구조이다. 게이트와 캐소드의 바이폴라 펄스 인가에 따라 게이트와 캐소드 사이의 펄스 교번작용에 의해 전자빔 방출 면적이 두 배로 증가하며, 균일도의 확보가 용이해진다. 그림2에 듀얼 에미터 구조를 도시하였다. 듀얼 에미터 구조는 인쇄법을 이용해 간단한 방법으로 에미터와 전극의 형성이 가능하며, 저비용으로 대면적 형성이 가능한 장점을 지니고 있다.

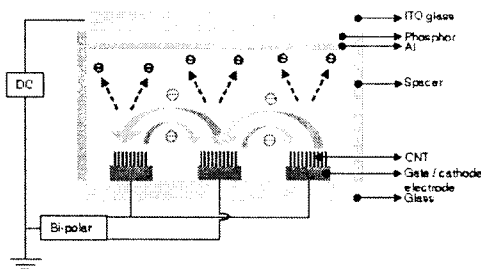


그림 2. 듀얼 에미터의 구조  
Fig. 2. Structure of dual emitter

본 논문에서는 게이트 전극의 폭과 간격을 조절하여 듀얼 에미터의 특성을 최대화 할 수 있는 구조 및 그 특성에 대해 중점적으로 논하려 한다.

## 2. 실험방법 및 결과

### 2.1 듀얼 에미터 제작

Glass위에 전도성 페이스트를 이용해 게이트와 캐소드 전극을 스크린 인쇄법으로 한 번에 형성한 후, 150[°C] 30[분]의 건조 과정을 거쳐 550[°C] 20[분]의 소성 과정을 통해 최종적으로 전극을 형성한다. 여기서 사용된 전도성 페이스트는 PDP용 Ag 페이스트(대주전자재료社)이다. 게이트 전극구조에 따른 듀얼 에미터 특성을 살펴보기 위하여 표1과 같이 게이트 전극의 폭과 넓이를 변화시키며 형성하였다. 다음으로 게이트와 캐소드 전극위에 CNT 페이스트를 이용하여 듀얼 에미터를 형성하게 된다. 여기서 사용된 CNT는 MWNT(일진 나노텍社)이다. CNT 페이스트의 인쇄 특성에 가장 영향을 미치는 것이 바인더의 점도이다. 따라서 원하는 인쇄성을 위한 최적화된 바인더의 제조가 필수적이라고 할 수 있겠다.

본 논문에서는 CNT 페이스트의 제조를 위하여 에틸셀룰로오즈(Ethyl Cellulose) 계열의 파우더와 알파테르핀올( $\alpha$ -Terpineol)을 섞은 후 8-12시간 교반시켜 바인더

를 제조하였다. 여기에 CNT와 프릿을 섞은 후, 3롤밀을 사용하여 페이스트상 카본나노튜브의 분산이 잘 이루어지도록 하였다. 이렇게 준비된 카본나노튜브 페이스트를 게이트와 캐소드 전극위에 1회 인쇄하였다. 이때 사용된 스크린 마스크의 사양은 SUS325 마스크로 유체두께는 12[um]였다. 인쇄 과정 후 120[°C] 10[분]간 건조 후 질소분위기에서 350[°C]의 온도로 소성한 후 테이핑 방법으로 표면처리를 실시하였다.

형광막을 형성하기 위하여 EC 계열 바인더에 형광체를 섞은 후, 3롤밀을 통해 페이스트 상을 제조하였다. 형광막을 만들기 위해 사용된 스크린 마스크의 사양은 SUS325, 유체 두께 12[um]이었으며, 스크린인쇄법으로 형성하였다. 고전압 인가 시 전자 축적을 방지하기 위하여 형광막 위에 Al막을 형성한 후[19], 대기분위기 470[°C]로 소성하였다. 이때 Al막의 두께는 약 1,200[Å]이며, 열증착방법으로 제작하였다.

### 2.2 듀얼 에미터 특성 평가

게이트 및 캐소드 전극의 구조에 따른 듀얼 에미터 특성을 평가하기 위하여 표1과 같이 게이트 전극의 폭과 넓이를 변경시켜 그에 따른 듀얼 에미터 특성을 평가하였다. 특성 평가를 위하여 2.1절의 듀얼 에미터와 2.2 절의 아노드를 사용하여 진공챔버내에서 전기적 특성을 평가하였다. 아노드와 캐소드 간의 간격은 10[mm]이었으며, 이는 10[kV]이상의 고전압을 인가하기 위함이다. 측정 시의 진공챔버내의 진공도는  $3 \times 10^{-5}$ [torr]이었다. 게이트와 캐소드 간에는 바이폴라 형태의 펄스를 인가하고, 아노드에는 고전압 DC를 인가하여, 각 듀얼 에미터 전극 스펙에 따른 특성을 평가하였다.

표 1. 게이트 전극 스펙  
Table 1. Variation pitch of gate electrode

Sample NO.	Buffer electrode width(um)	Buffer electrode space(um)	Number of CNT line(ea)
1	150	100	280
2	150	250	176
3	200	100	234
4	200	200	176
5	300	100	174
6	300	200	140

듀얼 게이트를 구동시키기 위하여 게이트와 캐소드 전극에는 바이폴라 형태의 펄스를 인가하고, 아노드에는 고전압 DC를 인가하였다. 게이트와 캐소드 전극 사이의 바이폴라 교번 작용에 의해 캐소드 전극이 그라운드가 될 때는 캐소드 전극위의 에미터가 전자를 방출하고, 게이트 전극이 그라운드가 될 때는 게이트 전극위의 에미터가 전자를 방출시키게 된다. 캐소드 전극에

펄스가 인가될 때는 게이트 전극의 전자가 캐소드 쪽으로 이동하며, 이를 빠른 주파수로 교번 구동한 결과 전자의 방출량은 두 배로 증가하게 된다. 또한 전자빔을 집중해주기 위한 별도의 전극 구조 없이 캐소드와 아노드 사이를 10[mm]의 넓은 간격으로 구동시킴으로 전자빔의 퍼짐이 자연스럽게 유도되게 된다. 이로 인해 이극 구조에 비해 보다 균일한 발광 이미지를 얻을 수 있었다. 다이오드 구조와의 비교 사진을 그림 3에 나타내었다.

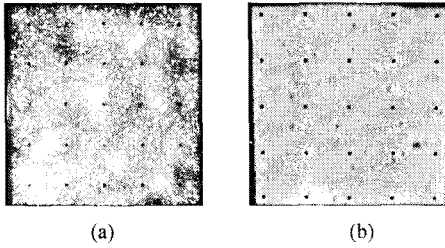
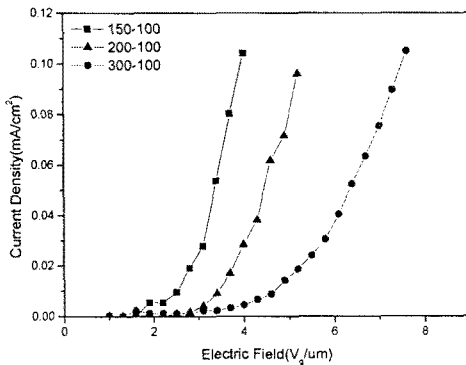
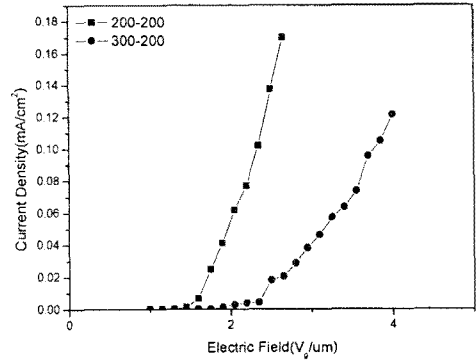


그림 3 5° 발광 이미지. (a) 다이오드 구조, (b) 듀얼 에미터 구조  
Fig. 3. Emission image of (a) conventional diode, (b) dual emitter structure at 5°-diagonal.

한편, 게이트 전극의 간격과 넓이 변화에 따른 에미션 특성을 평가하였다. 게이트 전극 간의 간격을 100 $\mu\text{m}$ 로 고정된 후, 게이트 전극의 폭을 150 $\mu\text{m}$ , 200 $\mu\text{m}$ , 300 $\mu\text{m}$ 으로 변화 시킨 샘플의 에미션 특성을 관찰한 결과, 게이트 전극의 폭이 좁아질수록 우수한 에미션 특성을 보였다. 이는 게이트 전극 간의 간격이 200 $\mu\text{m}$ 인 경우에서도 동일하게 나타났고, 게이트 전극의 폭이 좁아짐에 따라 보다 강한 전계가 유도되기 때문인 것으로 보인다. 상기 결과를 그림 4에 나타내었다.



(a)

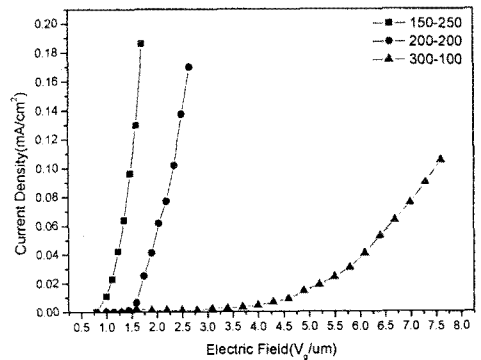


(b)

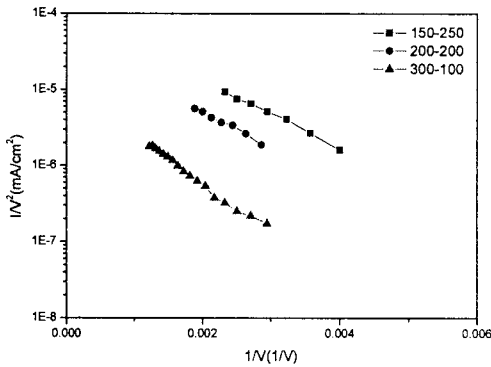
그림 4. 게이트 전극 넓이에 따른 전계방출 특성. (a) 게이트 전극 간격 100 $\mu\text{m}$ , (b) 게이트 전극 간격 200 $\mu\text{m}$

Fig. 4. J-E characteristics as a function of gate electrode width. (a) same gate electrode space 100 $\mu\text{m}$ , (b) same gate electrode space 200 $\mu\text{m}$

게이트 전극의 피치를 동일하게 400 $\mu\text{m}$ 으로 고정된 후, 게이트 전극의 폭과 간격을 변화시켜 에미션 특성을 평가한 결과, 게이트의 폭이 좁아지는 방향이 에미션 특성이 더욱 우수한 것으로 나타났으며, 이 결과는 강한 전계에 의해 에미터로부터 전자를 원활하게 유도할 수 있는 구조라는 것을 나타낸다. 상기 데이터를 F-N 변환한 결과 선형 특성이 나타나는 것으로 보아, 전계방출 거동을 하고 있음을 알 수 있다. 상기 결과를 그림 5에 나타내었다.



(a)



(b)

그림 5. 게이트 전극 넓이와 간격은 다르나 피치가 일정한 경우의 전계방출 특성. (a) I-V 그래프 (b) F-N 그래프

Fig. 5. Field emission properties at the same pitches. (a) I-V plot. (b) F-N Plot.

### 3. 결 론

인쇄법을 이용하여 게이트와 캐소드 전극을 한 유리 기판위에 형성하고, 그 위에 에미터를 형성하여 듀얼 에미터 구조를 구현하였다. 듀얼 에미터의 특성을 평가하기 위하여 게이트 전극의 폭과 넓이를 달리하여 그에 따른 에미션 특성을 평가하였다. 게이트 폭이 좁아질수록 우수한 에미션 특성을 보였으며 이는 게이트와 캐소드 전극간의 폭이 좁아짐으로 인해 보다 강한 전계가 유도된 결과라 하겠다. 또한 바이폴라 교번작용으로 에미션 균일도가 우수한 5인치 패널의 제작이 가능하였다.

이 논문은 지식경제부 과제번호 "10028459" (친환경 에미터 소재를 이용한 3극 구조의 면형 광원 개발) 과제에 의해 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

[1] 김광복 외, "study of new light source with nano carbon material", 한국조명·전기설비학회 2006 춘계 학술대회 논문집, 2006. 5, pp. 31~34  
 [2] 박성욱 외, "국내외 광원분야의 신기술 동향", 조명·전기설비 제18권 제1호, 2004. 2, pp. 4~9  
 [3] 유재은 외, "탄소나노 소재를 이용한 광원기술 개발 동향" 2004년도 제2차 전기응용 신기술 Workshop pp. 187-232, 2004  
 [4] J.M.Kim, W.B. Choi, N.S. Lee and J.E. Jung, "Relationship between field emission property and composition of carbon nanotube paste for large area cold cathode", *Diamond Relat. Mater.*, 9, 1184(2000).  
 [5] 이윤희, "삼전극형의 탄소나노튜브 전자방출원과 표시소

자 응용기술", KISTI 유망 연구영역 분석 보고서 38 면 2005-12  
 [6] S. Ijima, "Helical microtubes of graphitic carbon", *Nature*, 354, 56(1991)  
 [7] C. A. Spindt, C. E. Holland and R. D. Stowell, "Field emission cathode array development for high current density application", *Appl. Surf. Sci.*, Vol. 16, p. 268, 1983  
 [8] M. Okuda, s. Matsutani, A. Asai, A. Yamano, K. Hatanako, T. Hara and T. Nakariri, "Electron trajectory analysis of surface conduction electron emitter displays(SEDs)", *SID 98 Digest*, p. 185, 1998  
 [9] T. Kusunoki, M. Suzuku, S. Sasaki, T. Yaguchi and T. Aida, "Fluctuation-free electron emission from non-formed metal-insulator-metal(MIM) cathodes fabricated by low current anodic oxidation", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 32, p. L1695, 1993  
 [10] T. Komoda, T. Ichihara, Y. Honda, T. Hatai, T. Baba, Y. Takegawa, Y. Watabe and K. Aizawa, "Demonstration of a possibility for a large panel BSD by fabrication 7.6 inches diagonal prototype model", *SID 03 Digest*, p. 910, 2003  
 [11] Y. C. Kim, K. H. Shon, Y. M. Cho and E. H. Yoo, "Posttreatment-dependent current degradation and role of tube length on morphology of printed carbon nanotube field emitters", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 44, No. 26, p. L848, 2005  
 [12] H. Mizukami, M. Ojima, S. Hiwataishi, H. Araki, A. Fujiti, M. Ozaki and K. Yoshino, "Fabrication and field emission properties of C<sub>60</sub> nanorod formed by spin-cast treatment", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 44, No. 26, p. L851, 2005  
 [13] Y. H. Kim, C. J. Park and K. J. Chang, "Subbands in carbon nanotubes under radial deformation", *J. Korean Phys. Soc.*, Vol. 37, p. 85, 2000  
 [14] Y. H. Kim, C. J. Park and K. J. Chang, "Subbands in carbon nanotubes under radial deformation", *J. of Korean Phys. Soc.*, Vol. 37, No. 2, p. 85, 2000  
 [15] H. S. Uh, "Low turn-on voltage field emission triodes with selectively grown carbon nanotube emitters", *J. of Korean Phys. Soc.*, Vol. 45, No. 5, p. 1343, 2004  
 [16] W. J. Zhao, A. Sawada and M. Takai, "Field Emission Characteristics of Screen-Printed Carbon Nanotube After Laser Irradiation", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 41, 4314(2002)  
 [17] T. J. Vink, M. Gillies, J. C. Kreige and H. W. J. J. van de Laar, "Field-emission enhancement from change of printed carbon nanotube morphology by an elastomer", *Appl. Phys. Lett.*, 83, 3552(2003)  
 [18] Y. C. Kim, K. H. Sohn, Y. M. Cho and E. H. Yoo, "Improvement of field emission from printed carbon nanotubes by a critical bias field", *Appl. Phys. Lett.*, 84, 5350(2004)  
 [19] 이선희 외, "전계방출광원용 고효율 아노드 형광막 특성 연구(1) - 금속막", 한국조명전기설비학회 2007 춘계 학술대회 논문집, 2007. 5, pp. 7~10