

FED 기술동향

이양두, 주병권 (고려대학교 전기전자전파공학부)

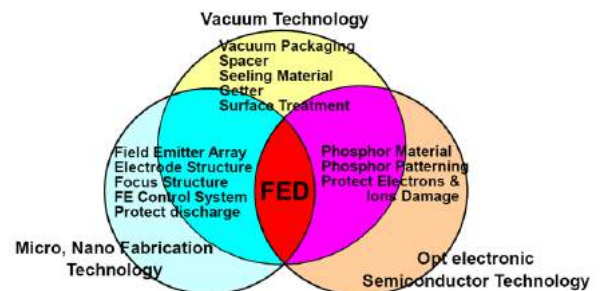
I. 서 론

전계 방출 디스플레이(Field Emission Display : FED)는 원리적으로 CRT(Cathode-Ray Tube)와 유사하게 고에너지로 가속해서 진공속으로 방출시킨 전자를 형광체에 충돌시켜 빛으로 표시하지만 열 전자 방출 원리를 이용하는 브라운관과 달리 전계 에미터(Field Emitter)에 게이트(Gate)전압을 인가하면 전자들이 에미터로부터 양자역학적으로 터널링되어 방출된다. 음극에서 방출된 전자들은 더욱 큰 양극 전압에 의해 형광체가 도포된 양극 쪽으로 가속되며, 전자들이 형광체에 충돌하여 형광체내의 전자들이 여기 되었다가 떨어지면서 빛을 발생하는 음극선 발광(Cathodoluminescences) 원리로 동작한다. 기존의 CRT는 자체 광원을 가지고 있어서 천연색 및 높은 색순도를 유지하면서 자연스럽고 다이내믹한 화상을 실현하고 넓은 시야각을 가지는 장점이 있지만 부피가 크고 중량이 무겁고(스크린 크기가 증가할수록 부피와 무게가 증가함), 내파(Impllosion) 및 파괴 가능성이 높다는 문제점을 가지고 있다. 이러한 한계점을 극복하기 위하여 CRT의 장점을 가지고 있고 평판디스플레이(Flat Panel Display : FPD)의 특징을 갖추고 있는 것이 FED이다. 1990년대 후반부터 나노기술을 적용시킨 FED의 연구개발이 진행되고 있다. 본 고에서는 2000년대 중반이후부터 FED의 기술개발 동향과 전망에 대하여 논의하고자 한다.

II. FED의 기술개발 동향

FED의 요소 기술은 마이크로 또는 나노 에미터 제조의 음극 기술, 형광체가 도포된 양극 기술, 진공 내에서 전계 방출에 의해 소자 동작을 위한 패널 내부의 진공 패키징 기술로 구성되어 있다[그림 1]. FED의 핵심소자인 전자 방출원은 팁(Tip)형과 평면형 그리고 탄소나노튜브(Carbon Nanotube : CNT)형 소자로 분류할 수 있다. 팁형의 경우에는 실리콘과 금속 팁, 평면형의 소자의 경우에는 SCE(Surface-Conduction Electron-emitter), MIM(Metal-Insulator-Metal) 등이 대표적이고, 탄소 계열 전자 방출원인 CNT가 전자 방출원 소재로 주목 받고 있다. 대표적인 각 전자 방출원 팁에 대해 FED의 시연 중심으로 살펴보고자 한다.

금속 팁 전자 방출원의 경우, FED에 있어서 가장 많은 연구가 진행되어 온 분야로 Stranford Research Institute



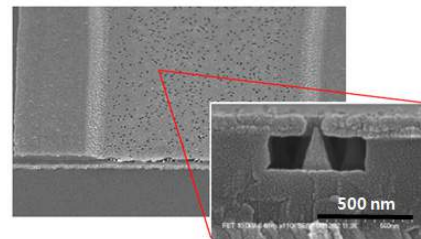
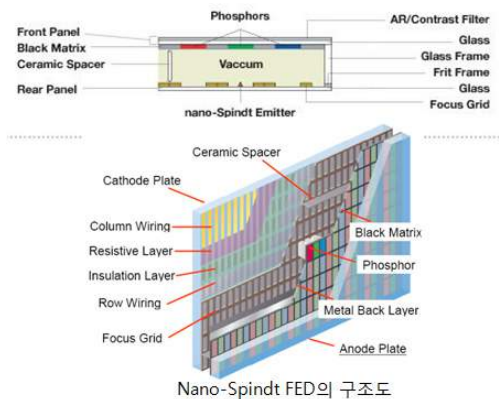
[그림 1] FED의 기술 요소

(SRI)에 Ken Shoulders가 FEA(Field Emission Array)를 기본으로 하는 전자빔 마이크로 소자를 1960년에 제안한 것으로부터 시작되었으며 제조 방법을 고안 한 것은 1968년 SRI에 Capp Spindt가 소자를 제작하여 발명자의 이름을 따서 spindt형 전극으로 불린다. 미세한 연필심을 거꾸로 한 것처럼 원추형 에미터를 게이트 내부전극에 위치시킨 음극 전극으로 구성되어 있고, 게이트와 음극 전극 사이는 절연층으로 분리되어 있다. 게이트 전극에 전계를 집속시켜 원추형 에미터에서 전자를 방출시킨다. 방출된 전자들은 더욱 큰 양극 전압에 가속되어 형광체 내의 특정 원소 내에 있는 전자들이 여기되었다가 떨어지면서 빛을 발생하는 원리를 이용하여 제작한 것이 FED이다. [그림 2]는 2007~2008년(SID'07,08)에 소니에서 spin off시킨 Field Emission Technologies(FET) Inc. (일본)에서 발표한 nano-Spindt FED의 구조 및 시연 사진을 보여 주고 있다. 19.2인치 nano-Spindt FED의 구조는 게이트 홀 직경은 130 nm이고, 픽셀(pixel)의 수는 1280×RGB×960이다. Nano-Spindt의 구조도와 에미터의 SEM사진을 보여주고 있고 RGB 서브 픽셀에 10,000개 이상의

nano-Spindt 에미터가 있다. 2007년에 SID'07(미국) 전시회에서 영상시연을 하였고, 그 이후 2009년에 사업을 마감하고 2010년에 nano-Spindt FED관련 기술을 AU Optronics사에 이전하였다.

평면형 전자 방출원의 MIM(Metal-Insulator-Metal)은 금속판 2장 사이에 얇은 절연막을 끼워 넣은 샌드위치 구조를 가진 에미터로 Hitachi사가 꾸준히 연구하고 있고, 2009년 SID에서 픽셀 수는 1366×768, MIM cathode의 에미터 크기는 50×100 μm 을 가진 32인치 MIM FED를 연구 발표하였다([그림 3]). MIM구조는 하부 전극으로부터 전자가 F-N 터널링을 통해 절연층을 통과한 후, 대부분이 상부전극으로 도달하는 다이오드 전류가 되는 과정에서 일부 강한 에너지를 얻은 전자가 진공 내에 주입되어 방출 전류로 기여하는 현상을 이용하는 것으로 강한 전계에 서의 터널효과로 인한 전자방출이 된다. 현재에도 Hitachi에서 대면적 MIM FED의 연구가 진행되고 있다.

SED(Surface-conduction Electron-emitter Display)는 일본의 Canon사에 의해 개발된 평면형 에미터로 SCE(Surface Conduction Emitter)형이라고 부르는데 이 기술은 1996년

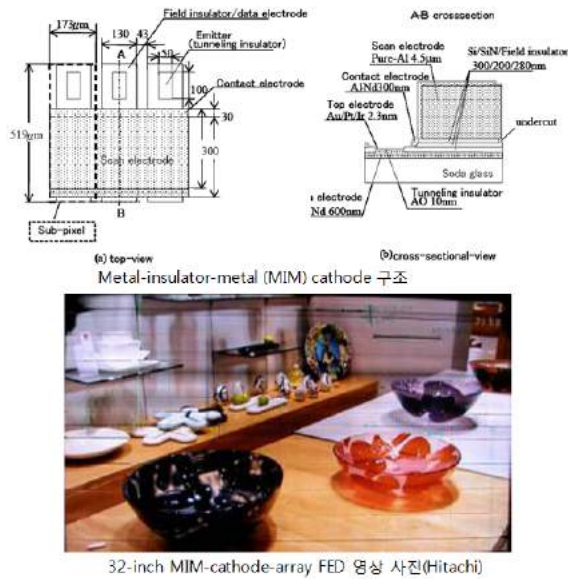


Nano-Spindt emitter 사진



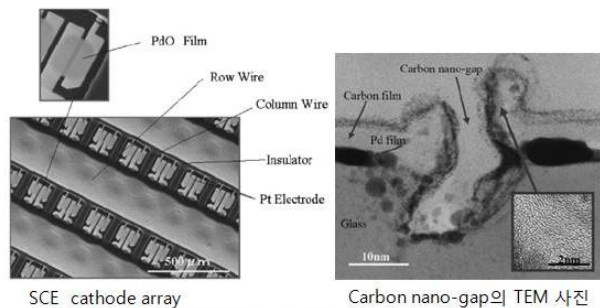
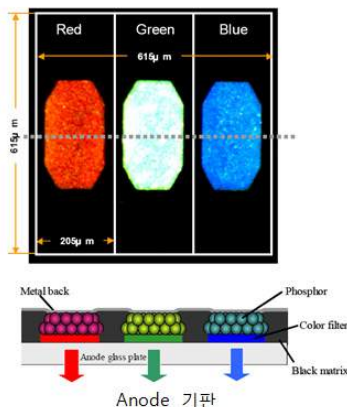
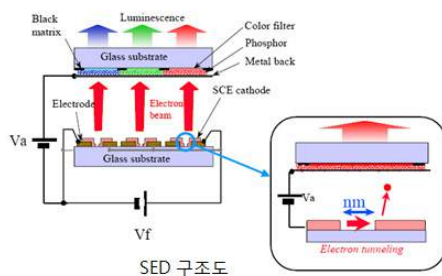
Nano-Spindt FED 영상 사진(Field Emission Technologies)

[그림 2] Nano-Spindt FED의 구조 및 시연 사진(SID'08, 2008년)



[그림 3] MIM FED의 구조 및 영상 사진(IDW'09, 2009년)

에 발표되었다. SED의 원리는 수 나노 미터의 틈을 갖는 박막이 두 개의 전극 사이에 놓여 있고, 박막에 전계가 인가되면 틈의 왼쪽에 있는 박막으로부터 전자가 방출되어 상대편 전극에 충돌과 전자산란 과정을 반복하게 된다.

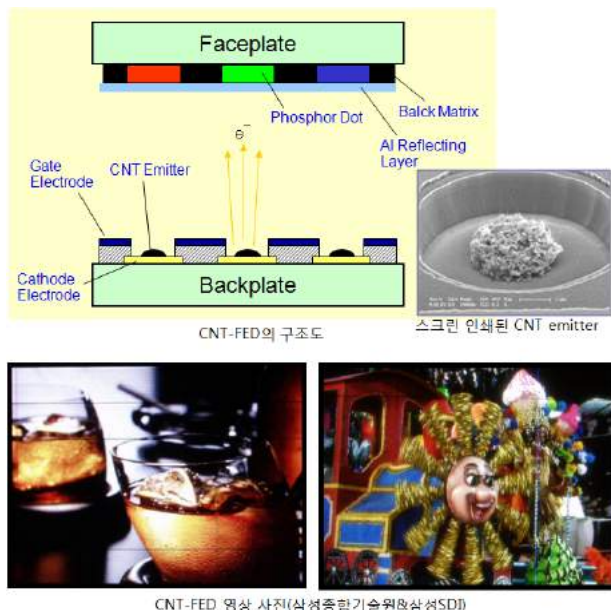


[그림 4] SED의 구조 및 시연 사진(SID'05, CES 2006)

일부 전자만이 전기장의 지배적 영역으로 이동하여 양극 전압에 가속되어 형광체를 발광하게 된다. 전자 방출막 재료는 PdO가 사용되고 잉크젯 프린팅(Ink Jet Printing) 법으로 기판에 형성한다. 열처리하면 Pd은 산화되어 PdO 박막이 된다. PdO막의 두께는 5-8 nm, 직경은 70 μm 이고, Pt 전극위에 형성시킨다. 전자방출부를 형성하기 위해 수 나노의 틈을 형성하는 포밍(Forming)공정을 한 후 탄소 함유 가스를 사용하여 탄소 박막을 PdO상에 증착 또는 CVD로 형성시켜 신뢰성을 더욱 높이는 결과를 낳는다. PdO 박막 양단에 펄스형 전압을 인가하면 발열에 의하여 박막이 부분적으로 용융되면서 수 나노 미터 틈이 만들어 진다. 이것은 절연물 등에서 잘 나타나는데, 통전된 물질 속에서 전계가 균형을 이루는 곳에 균열 현상이 발생한다. [그림 4]는 SED의 구조도와 양극 기판을 보여주고 있고, SCE cathode array의 SEM 사진, carbon nano-gap의 TEM 사진이고, CES 2006(미국), IFA 2006(독일)에서 시연한 55인치 SED 영상 사진이다(SED사). 2004년에 캐논과 도시바 합병하여 SED(주)를 설립하였고 현재 SED TV는 생산 비용 문제로 추가적인 개발은 멈추었지만,

image diagnostic와 다른 상업적 이용을 위한 기술개발은 진행하고 있다.

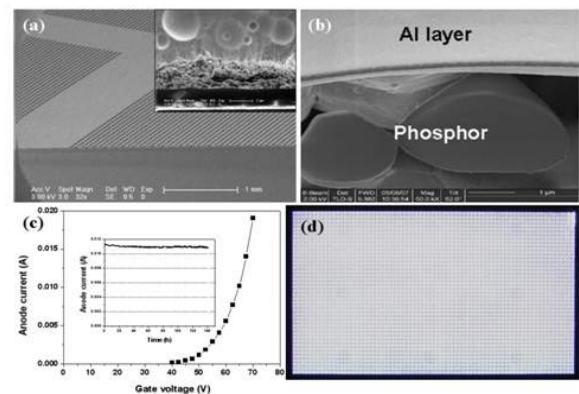
CNT는 수십 나노미터 미만의 직경을 가진 큰 이방성(>1,000), 물리·화학적 안정성 등으로 인해 전자 방출원 재료로 이용하여 FED에 응용하였다. CVD법과 후막공정 방법인 스크린 인쇄방식 및 잉크젯 인쇄법으로 기판에 CNT 에미터를 형성한다. 대면적 기판에는 스크린 인쇄법을 많이 사용한다. 인쇄법은 CNT페이스트를 사용해서 기판에 인쇄하고 400°C 정도의 온도에서 바인더를 제거한다. 이 방법은 간단하지만 도포된 CNT막은 전자 방출이 균일하지 않아 표면 활성화 처리를 해서 균일성이 높이는 공정이 필요하다. CNT-FED 제조 공정은 유리 기판 상에 하부 전극 형성, CNT 후막 형성, 절연층 형성, 게이트 전극 형성 및 전자 빔을 집속 할 수 있는 Focusing 구조 형성 등으로 음극 기판이 구성되고 양극 기판 제작 공정은 다른 FED와 유사하다. [그림 5]는 삼성SDI와 삼성종합기술원과 공동으로 제작한 CNT-FED를 보여주고 있고 현재에는 FED의 신뢰성 문제 및 기존의 디스플레이 시장 진입이 불투명하여 추가적인 개발이 중단되었고, LCD Backlight unit(BLU)에 적용하기 위해 제품 샘플을 개발하는 단계중이다.



[그림 5] CNT-FED의 구조 및 영상 사진(SID'06, 2006년)

III. FED의 전망

최근의 Spindt형, SCE형 CNT형 FED는 패널의 수명과 관련된 안정성 및 신뢰성, 제조 수율 및 생산성을 확보하지 못하여 기존의 디스플레이 시장 진입에 어려움이 있다. 특히 LCD 기술의 성능 향상과 가격하락의 속도를 따라가지 못하여 현재 개발이 정지되었거나 포기한 기업들이 있다. 기존 FED 기술을 이용해서 광원 응용(BLU, 전광 표시 소자)으로 개발이 진행되고 있다. LCD용 CNT BLU로서 Local Dimming 기능 및 동작 속도, 플라즈마 디스플레이(PDP) 공정을 모체로 한 가격 절감의 가능성 등의 기회 요인이 작용하고 있지만 LED BLU의 약진으로 인하여 기업들이 소극적으로 대응하고 있다. [그림 6]은 32인치 Local Dimming CNT BLU채용한 LCD TV 시연



(a) CNT 에미터 SEM 사진, (b) 애노드 단면 사진, (c) CNT-BLU 전계방출 특성, (d) 32인치 CNT-BLU 발광 사진



32인치 CNT-BLU를 적용한 LCD패널 동작 모양 (삼성SDI)

[그림 6] CNT BLU의 CNT 전자방출원 및 형광막 단면 사진과 32인치 CNT BLU채용한 LCD TV 시연(Nanotechnology, 2008년)

한 연구를 학술논문에 발표하였다. CNT BLU는 Top 게이트 방식이고 투명전극 위해 게이트 절연막을 20 μm 두께로 유리($\text{PbO-SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$) 페이스트를 스크린 인쇄하여 제작하고 Mo가 게이트 전극으로 코팅되었다. 게이트 홀(20 μm) 중앙에 스크린 인쇄 후 노광하여 CNT 에미터를 형성한다. 형광체 후막(두께 20 μm) 위에 알루미늄 반사막(두께 100 nm)이 형성된 양극 기판을 제조 한다. 음극 기판과 양극 기판을 정렬하여 고진공 패키징 공정을 수행하여 CNT BLU를 제작한다. 특성은 양극 가속 전압이 15 kV, 게이트 전압이 70 V일 때 휘도가 6,000 cd/m^2 이었고 Local Dimming 블록 사이즈는 1 cm^2 구조, 균일성과 장기적인 동작 안정성을 달성하였다[그림 6].

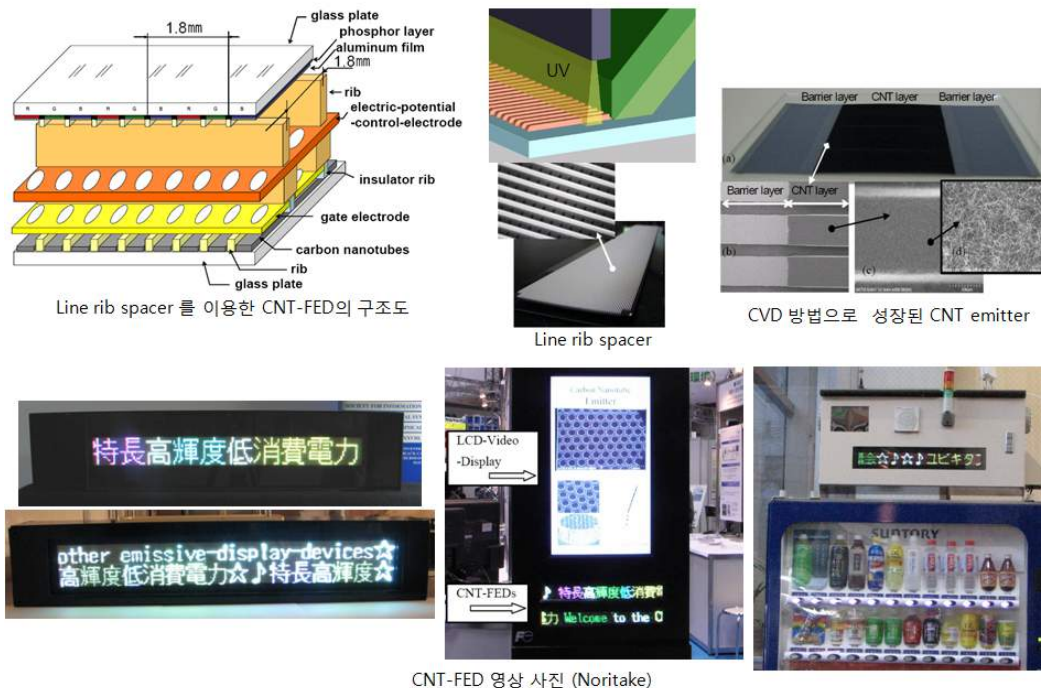
또 다른 응용분야로 일본의 Noritake사가 개발한 CNT FED의 전광 표시 소자가 꾸준히 연구개발 진행 중이다. 양극 기판과 게이트 사이(간격 2 mm)를 유지하기 위한 스페이서(Spacer)는 스크린 인쇄법으로 높이를 형성하면서 UV로 경화시켜 열처리 한 후 line rib spacer를 제작된 구조를 가진 CNT-FED이다.

전자 방출원은 426-alloy($\text{Fe-42wt\%Ni-6wt\%Cr}$) 금속

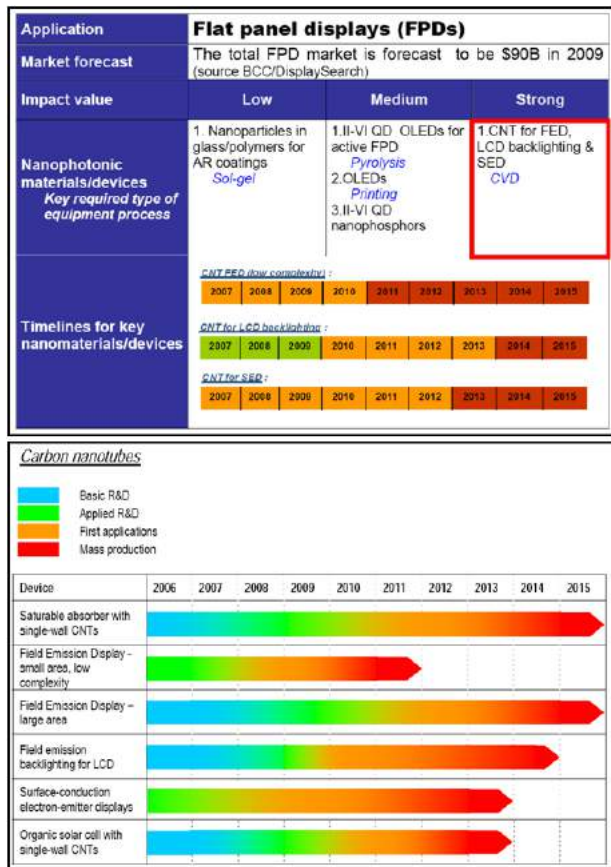
전극위에 열화학기상증착법(thermal CVD)으로 직접 성장시킨 CNT 에미터를 사용하였다. [그림 7]은 CNT-FED의 구조도와 스페이서 구조 및 CNT에미터 SEM 사진을 보여주고 48 mm×480 mm 크기와 전시장의 안내 표시 및 자동 판매기 위의 CNT-FED가 15개월 동안 전광표시 소자로 시연하였다.

유럽의 MONA(Merging Optics and Nanotechnologies) 2008년도 보고서를 살펴보면 LCD BLU용 CNT 기술을 충격 수치가 강한 기술로 정의하고 있다. 2010~2013년은 실용화 기간, 2014년 이후 생산 기간으로 예측 중이고 마찬가지로 CNT를 적용한 디바이스 중 BLU의 상용화 가능성이 높다는 것을 보여 주고 있다[그림 8].

FED가 약 30년의 역사 속에서 여러 가지 방법으로 개발되어 왔음에도 불구하고 실용화가 이루어지지 않았다. 과거에도 몇 번인가 상품화를 발표했지만 시장 진입을 하지 못한 이유는 스페이서, 패널 내부의 고진공 유지, 발광 균일성 확보, 고요율 저전압형광체 등 신뢰성 및 안정성의 문제들과 다른 디스플레이와 비교하여 상대적으로 생산 비용이 증가하기 때문이다. 이러한 불완전한 요인들



[그림 7] CNT-FED의 구조 및 전광표시 소자의 시연 사진(SID'09, 2009년)



[그림 8] CNT BLU를 포함한 나노 물질/소자의 발전 예측(MONA consortium, 2008년)

이 빠른 시일 내에 우선적으로 해결되는 것이 CNT BLU의 상용화가 될 것이고, 궁극적으로 FED도 기존 시장에 살아남을 수 있다.

IV. 맺음말

FED가 앞으로 더욱 발전하여 평판 디스플레이의 일부분을 차지하기 위해서는 패널의 균일성, 안정성 및 신뢰성 문제를 빠른 시간 내에 해결하여야 하며 이를 내구성, 우수한 음극과 저전압 구동의 전계 에미터 기술 및 저전압 형광체 기술, 스페이서를 포함한 고진공 패키징 기술 등을 기술적 장애물들을 해결해야 하고 다른 디스플레이의 제조 원가와 비슷해야 시장에서의 장벽을 극복할 수 있다. CNT BLU도 위의 기술적 문제를 해결하고 시장 및 경제적인 요인들이 긍정적으로 작용한다면 LED BLU의

뒤를 잇는 차세대 BLU가 LCD TV에 적용될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 산업기술융합산업 원천기술개발사업(No.10037379), 2010년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 및 교육과학기술부 세계수준의 연구중심대학 사업에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 주병권, 한국정보디스플레이학회지, 제2권, 3호, 6 (2001).
- [2] 주병권, 주간 전자정보, Vol.6, No.4 (2003).
- [3] S. Itoh, M. Tanaka, T. Tonegawa, M. Taniguchi, T. Niiyama, K. Tamura, M. Namikawa, Y. Naito, Y. Obara, M. Toriumi, H. Kobayashi, Y. Takeya, K. Deguchi, S. Kawata, Y. Marushima, Y. Fujimura, K. Nawamaki, Y. Kubo, Y. Sato, F. Kataoka, K. Sakurada, M. Ishibashi, K. Otsu and T. Yamaura, SID Symposium Digest of Technical Papers, **38**, 1297 (2007).
- [4] 조우성, 여정완, 문승일, 주병권, 전자공학회지, 제35권, 8호, 895 (2008).
- [5] Y. Iguchi, H. Kenmotsu, Y. Hatano, Y. Kato, S. Kanagawa, T. Ishii, S. Okanan, T. Kosugi, H. Ikeda, K. Kokubu and S. Hasegawa, SID Symposium Digest of Technical Papers, **39**, 28 (2008).
- [6] 김광영, 강남석, 이범주, 한국정보디스플레이학회지, 제4권, 3호, 7 (2003).
- [7] T. Kusunoki, M. Sagawa, M. Suzuki, E. Nishimura, M. Ikeda, and K. Tsuji, IDW '09, 1983 (2009).
- [8] T. Oguchi, E. Yamaguchi, K. Sasaki, K. Suzuki and S. Uzawa, SID Symposium Digest of Technical Papers, **36**, 1929 (2005).
- [9] K. Yamamoto, S. Takagi, T. Moriguchi and Y. Kataoka, Jpn. J. Appl. Phys., **48**, 122201 (2009).
- [10] 주병권, 한국정보디스플레이학회지, 제4권, 3호, 29 (2003).
- [11] 김용철, Proc. FEW 2007, 129 (2007).
- [12] L. Fulbert and T. Pearsall, A European roadmap for photonics and nanotechnologies, MONA consortium (2008).

- [13] 주병권, 월간 디스플레이, 12월호, 63 (2009).
- [14] Y. C. Choi, J. W. Lee, S. K. Lee, M. S. Kang, C. S. Lee, K. W. Jung, J. H. Lim, J. W. Moon, M. I. Hwang, I. H. Kim, Y. H. Kim, B. G. Lee, H. R. Seon, S. J. Lee, J. H. Park, Y. C. Kim and H. S. Kim, Nanotechnology, **19**, 235306 (2008).
- [15] 송윤호, 정진우, 전자통신동향분석 제24권, 6호, 32 (2009).
- [16] S. Uemura, H. Kurachi, J. Yotani, T. Nagasako, T. Nakao, M. Ito, A. Sakurai, M. Kajiwara, K. Sato, K. Fukuda, Y. Saito, SID Symposium Digest of Technical Papers, **40**, 28 (2009).
- [17] 송윤호, 한국정보디스플레이학회지, 제6권, 1호, 10 (2005).
- [18] 코모다 타쿠야, 알기 쉬운 FED, 기술정보 (2006).
- [19] Web-site: 고려대 - 디스플레이 및 나노시스템 연구실 (<http://diana.korea.ac.kr>)

저 자 약 력

이 양 두



- 1997년 : 부경대학교 재료공학과 학사
- 1999년 : 부경대학교 재료공학과 석사
- 2007년 : 고려대학교 재료공학과 박사
- 2007년~2008년 : University of Pittsburgh, Research Fellow
- 2007년~현재 : 고려대학교 연구교수
- 관심분야 : 전계방출디스플레이(FED), 탄소나노튜브, 화학센서, Nano-devices

주 병 권



- 1986년 : 서울시립대학교 전자공학과 학사
- 1988년 : 서울시립대학교 전자공학과 석사
- 1995년 : 고려대학교 전자공학과 박사
- 1995년~1996년 : University of South Australia, Research Fellow
- 1988년~2005년 : 한국과학기술원(KIST) 마이크로시스템 연구 센터 책임 연구원
- 2005년~현재 : 고려대학교 전기전자전파공학부 교수

학부 교수

- 2007년~현재 : 국가지정연구실(디스플레이 및 나노시스템연구실) 운영
- 관심분야 : Flat panel display(FED, OLED), MEMS, Nano-devices