

LCD Backlight용 FFL(Flat Fluorescent Lamp)의 발광특성에 미치는 전극 형상 및 전극간 거리의 영향

Effects of Electrode Shape and Electrode Distance on the Properties of Xe Plasma Flat Fluorescent Lamp

강종현¹, 이양규¹, 허성택¹, 김상우¹, 이동구¹, 오명훈^{1,a}
(Jong-Hyeon Kang¹, Yang-Kyu Lee¹, Sung-Taek Heo¹, Sang-Woo Kim¹,
Dong-Gu Lee¹, and Myung-Hoon Oh^{1,a})

Abstract

In this study, plasma flat fluorescent lamps (FFLs) having two electrode type structures of surface discharge was fabricated by screen printing and were characterized using spectra-radiometer and square pulse power supply. Two types of FFLs (cross-type and line-type electrode structure) were compared with variation of discharge shape and electrode distance.

Key Words : Flat fluorescent lamp(FFL), Backlight unit(BLU), Screen printing

1. 서론

평판디스플레이(Flat Panel Display, FPD)란 정보디스플레이 소자 중 두께가 수 cm에서 작게는 수 mm에 불과하고 화면 대각길이 1/4 이하의 두께를 갖는 편평한 박형의 디스플레이를 지칭한다. 최근 수년 사이에 기존에 사용되던 디스플레이의 대표적 제품인 CRT(Cathode Ray Tube)가 실현하지 못하는 박형, 경량, 저 소비전력면에서 이점을 가진 LCD (Liquid Crystal Display), PDP(Plasma Display Panel), FED(Field Emission Display) 등의 FPD 제품들이 급속한 기술혁신을 배경으로 CRT 브라운관의 위치를 추월하였다. FPD는 발광형(Emissive Type)과 비자발광형(Non-Emissive Type)으로 구분되며, 비자발광형에는 LCD, 발광형에는 PDP, OLED(Organic Light Emitting Diode, FED, VFD(Vacuum Fluorescent Display) 등이 있다. 또한 LCD, PDP 등의 뒤를 잇는 미래형 디스

플레이로는 플라스틱과 같이 얇은 기판에 영상을 구현하는 전자종이, 기존 LCD 등 2차원 디스플레이 기술을 대체할 수 있는 3차원 디스플레이가 있으며 이에 대한 상용화 연구도 활발하게 진행되고 있다. 이 중 1854년 Virchow에 의해 제시된 농도전이형(lyotropic) 액정(Liquid Crystal)이 발견된 이래 수 많은 연구자들의 연구 결과를 바탕으로 비약적 기술 혁신을 이룩한 LCD는 얇고 소비전력이 낮아 FPD시장의 70 % 이상을 점유하고 있다.

LCD는 크게 액정패널, 백라이트 유닛, 구동회로로 구성 되어 있다. 그 중 백라이트는 대형 LCD 패널에서 많은 에너지를 소비하는 부품으로서 저에너지 타입의 개발이 필요한 부품이다. 또한 보편적으로 사용되고 있는 Hg 공명 여기에너지(Resonance Energy, 253.7 nm)를 이용한 냉음극형광램프인 CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp)은 점등지연, 백라이트 제작시의 제조원가, 생산성 등에 많은 문제를 안고 있으며, 특히 수은과 같은 환경오염 물질을 포함하고 있어서 2006년부터 실시된 유럽의 환경규제로 인한 많은 제재가 예상 되어지고 있다[1,2]. 이와 같은 문제점들을 극복하기 위해 Xe공명에너지(142 nm, 173 nm)를 이용한 평판형광등인 FFL과 외부에 전극이 구성되

1. 금오공과대학교 정보나노소재공학전공
(경북 구미시 양호동 1)

a. Corresponding Author : ohmyung@kumoh.ac.kr

접수일자 : 2008. 10. 24

1차 심사 : 2008. 11. 11

심사완료 : 2008. 11. 24

어 있는 EEFL(External Electrode Fluorescent Lamp), CNT(Carbon Nanotube)를 이용한 백라이트 및 고휘도의 LED(Light Emitting Diode)등이 CCFL을 대체할 수 있는 새로운 대안으로 연구되고 있다[3-6]. 이 중에서 FFL은 기존의 CCFL에 비해 휘도 균일성, 수명, 제조원가, 두께의 최소화 등의 장점이 있으며 에너지 소스로 불활성 기체인 Xe를 여기원으로 사용하기 때문에 친환경적이며 유럽의 환경 기준에 적합한 것이 특징이다[7]. 따라서 Xe과 같은 불활성 기체를 사용하여 방전을 일으키는 연구가 수행되고 있지만 이러한 제품의 단점인 낮은 휘도와 저효율은 우선적으로 해결되어야 할 과제로 지적되고 있다[8-12].

따라서 본 연구에서는 방전 효율 개선 및 휘도 향상을 연구 목적으로 coplanar 전극구조로 이루어진 FFL를 제작하고, 새롭게 설계된 전극 형상 및 전극간 거리의 변화에 따른 램프 특성의 변화를 체계적으로 고찰하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 그림 1에 제시한 것과 같이 PDP 용으로 쓰이는 PD200유리를 패널 제작용 기판으로 사용하였으며, 표면에 존재하는 불순물을 제거하기 위한 메탄올 세척 및 air blow 후 완전 건조시켰다. 습기가 존재하면 유기용매와 물과의 불혼성 때문에 소성 시 버블발생으로 인해 전극 표면에 기포자국을 만들어 전극 단락의 원인이 되기 때문에 공정 전후에는 진공 데시케이터에 보관하였다. 세척이 완료된 하판에 silver 페이스트를 스크린 프린팅법으로 인쇄한 후 550 °C, 1시간 정도 소성을 시켰다. 유전체 페이스트를 전극 위에 실험조건에 요구되는 두께를 만족시키기 위해 200 메쉬의 마스크를 이용해 프린트하고 가소성을 하는 과정을 10회 이상씩 반복하여 580 °C, 1시간 소성시켰다.

진공 자외선에 여기 되어 백색광을 방출하는 형광체를 만들기 위해 각각 red, blue, green 형광체 파우더를 유기 바인더에 적절한 양을 섞어 3시간 동안 교반시킨 후 3-roll mill을 이용하여 분산시켰다. 이렇게 만든 형광체 페이스트를 200메쉬의 스크린 마스크를 이용해 스크린 프린팅법으로 유전체 위에 15 μm 두께로 프린트한 후 450 °C, 1시간 30분 동안 소성하였다.

미소의 방전 공간을 만들어 주기 위해 유리 가장자리에 프레임을 놓고 dispenser를 이용해 seal

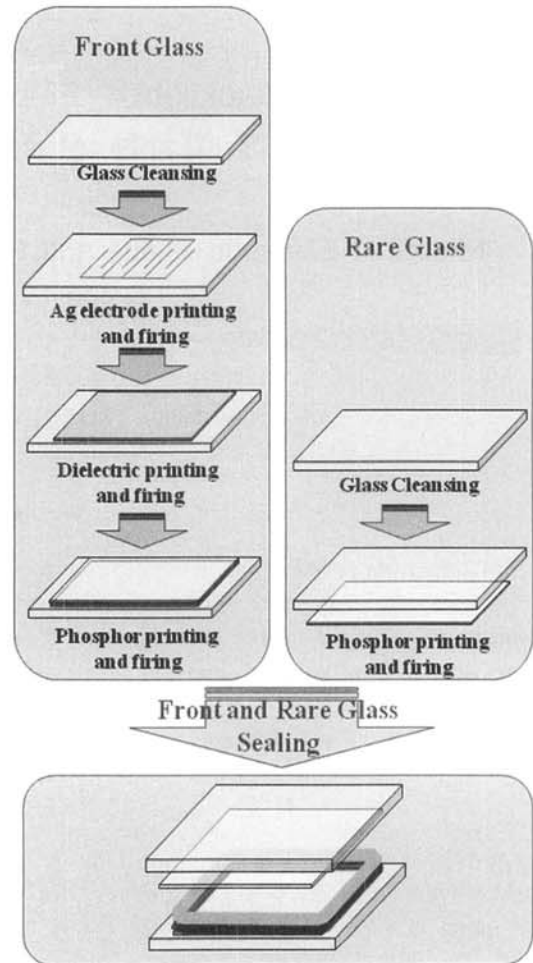


그림 1. FFL의 제조 과정 개략도.

Fig. 1. Schematic diagram for manufacturing process of FFL.

재를 도포하여 450 °C에서 sealing을 하였다. Sealing과정이 끝난 패널은 내부 잔여 유기물로 인한 이상방전 현상의 발생을 방지하고, out-gassing으로 인한 진공도의 저하를 방지하기 위해서 250 °C에서 온도를 유지시키면서 진공 배기공정을 수행하고 Xe 가스를 넣어 방전 이상 유무를 체크한 후 tip-off 하였다. 이렇게 만들어진 FFL패널을 전극 모양과 전극간 거리를 변수로 하여 전압을 변화시키면서 휘도기로 휘도를 측정하였으며, 이렇게 얻어진 데이터를 바탕으로 휘도와 발광 면적 등을 고려한 계산식을 활용하여 그 효율을 계산하였다.

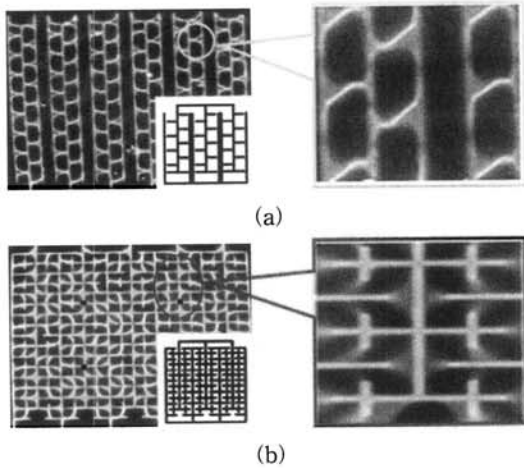


그림 2. FFL의 발광 이미지 (a) 일자형 구조, (b) 십자형 구조.

Fig. 2. The emission image of FFL (a) line type, (b) cross type.

3. 결과 및 고찰

3.1 전극 구조에 따른 발광 특성

전극 구조는 그림 2에서 보는 바와 같이 두 가지 형태로 제작하였다. 그림 2(a)에 있는 구조는 기본적으로 많이 알려진 형태이며 직선형(line) 구조라고 명명하고, 그림 2(b)의 구조는 셀의 방전면적을 증가시켜 휘도를 높이려는 목적으로 기존의 전극에 더 많은 전극가지를 채택한 형태로 본 연구에서는 이를 십자형(cross)구조로 명명하였다. 공명 전극 구조를 가지고 있는 FFL은 글로우방전의 α 전리와 γ 전리를 이용한다[13]. 무거운 비활성기체의 양이온이 이동도가 낮아 음극주변에서 2차 전자를 방출시키는 것과 또 모서리 부분에 전계가 집중되어 플라즈마가 형성되기 때문에 그림 2에서 보는 바와 같이 전극 모양의 방전형태를 가진다. 이러한 이유로 전극 모양에 따라 발광 영역이 변하고 휘도 및 방전 전압이 달라진다. 본 연구에서는 전극 간 간격은 2.7 mm, 그리고 유전체 두께를 150 μm 로 동일하게 하여 패널을 완성한 후에 Xe를 주입한 후 1.4 kV에서 방전을 시켜 방전형태를 확인하였으며, 휘도 및 방전 전압을 비교 조사하였다. 우선 가장 일반적으로 연구되고 있는 직선형구조에서는 전극의 모서리 부분을 꼭지점으로 삼각형 구조로 플라즈마가 형성되었고 가스압력이 증가하여도 안정된 모습을 보였다. 반면에 십자형 구

조의 경우는 모서리 부분을 중심으로 더 많은 플라즈마가 형성되었지만, 가스압력이 증가함에 따라 불균일하게 플라즈마가 형성되고 플라즈마의 떨림 같은 불안정한 상태를 보였다. 이는 보통 두 전극 사이에 전계가 많이 가장 많이 집중되는 곳에서 플라즈마가 커지게 되는데, 십자형 구조의 경우에 셀당 최인접 전극들이 많아서 일단 어떤 한 부분에서 플라즈마가 커지게 되면 플라즈마의 쓸림 현상이 일어나기 때문이다. 전극에서의 방전구조의 차이점은 휘도와 효율에도 영향을 주었는데, 십자형 구조의 경우 방전이 형성되는 지역이 많기 때문에 동일한 가스 압력에서 진공자의외선을 더 많이 생성시켜 휘도가 직선형 구조보다 높았다. 하지만 십자형의 경우 플라즈마가 형성되는 지역이 많아 휘도는 증가하여도 소비되는 전력량이 많아지기 때문에 효율은 오히려 직선형구조가 더 높게 나왔다. 발광효율(η)은 식 (1)과 같이 계산되는데, 여기서 A는 광원의 발광면적[m²]을, L은 휘도값, p는 소비전력을 나타낸다.

$$\eta = \frac{\pi AL}{p} \left[\frac{lm}{W} \right] \quad (1)$$

그림 3은 패널의 Xe가스 압력에 따른 십자형과 직선형 구조의 방전개시 전압과 휘도 변화를 관찰한 것이다. 가스 압력이 증가함에 따라 방전개시 전압과 휘도는 증가하는 경향을 보였다. 십자형의 경우는 가스 압력이 100 torr까지 증가함에 따라 직선형보다 낮은 방전개시전압을 보였다. 이러한 현상이 관찰된 원인으로는 방전이 형성되는 지역이 유기적으로 연결되어 있는 십자형에서는 한 곳에서 방전이 형성되었을 때 다른 셀에도 영향을 미쳐 방전개시 전압을 낮추지만, 직선형은 방전되는 지역이 유기적으로 연결되어 있지 않기 때문에 서로 사료된다. 가스 압력에 따른 휘도의 변화를 살펴보면 직선형은 100 torr까지 일정한 휘도 증가율을 보이지만 십자형은 60 torr에서 급격히 증가하고 100 torr가 되었을 때 휘도 증가율이 감소한다. 이는 실험적으로 직선형은 방전이 안정하게 유지되기 때문에 일정한 휘도 증가율을 보이지만, 십자형은 60 torr 이상에서는 방전이 불안정한 현상을 보이며 이러한 현상이 휘도 증가율의 감소로 나타난 것으로 판단된다. 이러한 현상은 효율에도 영향을 미치는 것으로 관찰되었는데, 그림 4에서 알 수 있듯이 전반적인 경향은 Xe가스 압력이 증가함에 따라 발광효율도 증가하는 경향을 나타냈지만, 십

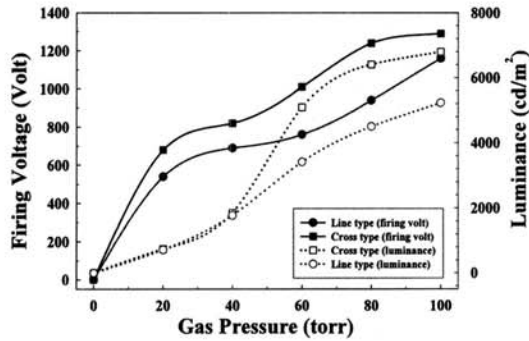


그림 3. 가스압에 따른 발광 전압 과 휘도 (유지 전압 1.4 kV, 주파수 25 kHz, duty on time 25 %, 유전체 두께 150 μm , 전극간 거리 2.7 mm).

Fig. 3. The luminance and firing voltage with gas pressure at sustain voltage 1.4 kV, frequency 25 kHz, duty on time 25 %, 150 μm dielectric thickness, and 2.7 mm distance of electrodes.

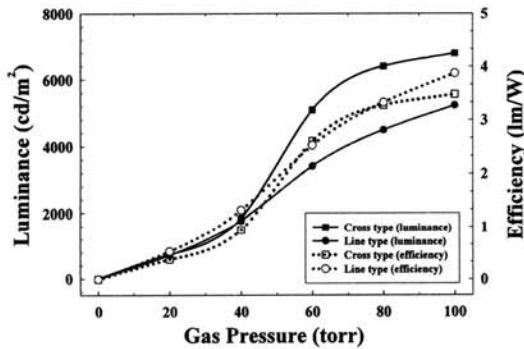


그림 4. 가스압에 따른 발광 효율과 휘도 (유지 전압 1.4 kV, 주파수 25 kHz, duty on time 25 %, 유전체 두께 150 μm , 전극간 거리 2.7 mm).

Fig. 4. The efficiency and luminance with gas pressure of FFL at sustain voltage 1.4 kV, frequency 25 Hz, duty on time 25 %, 150 μm dielectric thickness, and 2.7 mm distance of electrodes.

자형의 경우 80 torr 정도에서 휘도의 증가도 크지만 소비전력량도 동시에 증가해서 효율의 변화는 그다지 크지 않은 것으로 나타났다. 반면에 Xe 가스 압력이 100 torr가 되면 십자형 전극구조의 특

성인 전극간의 간섭으로 인하여 방전 플라즈마가 불안정하게 되어 소비전력은 크지만 휘도는 증가되지 않아서 직선형보다 낮은 발광효율을 나타내는 것으로 관찰되었다.

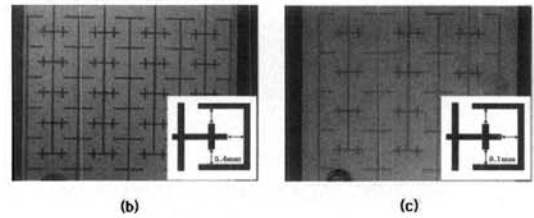
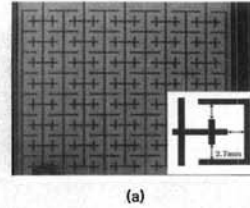


그림 5. 전극간 거리, (a) 2.7 mm, (b) 5.4 mm (c) 8.1 mm.

Fig. 5. The picture of the electrodes gap, (a) 2.7 mm, (b) 5.4 mm, and (c) 8.1 mm.

3.2 전극간 간격에 따른 발광 특성

본 연구에서는 전극간 간격의 변화에 따른 전기광학적 특성의 상관관계를 관찰하기 위해 그림 5와 같이 2.7 mm, 5.4 mm, 8.1 mm로 전극간의 간격을 설계하여 제작하였다. 유전체 두께를 150 μm 로 동일하게 패널을 완성한 후에 전극간의 거리에 따른 방전개시 전압의 변화 및 1.4 kV로 전압을 유지한 상태에서 휘도와 발광효율을 조사하여 그림 6과 그림 7에 나타내었다. 그림 6에서 보는 것과 같이 전극간 거리가 멀어질수록, 패널의 개스 압력이 증가할수록 방전개시 전압이 증가하는 것을 알 수 있는데, 이것은 아래 식 (2)의 Paschen법칙과 일치한다[14].

$$V_f = \frac{Bpd}{\ln \left\{ \frac{Apd}{\ln(1 + \frac{1}{\gamma})} \right\}} \quad (2)$$

여기서 V_f 는 방전개시전압, A와 B는 상수, p는 개스 압력, d는 전극간 간격, γ 는 타운센드 이차계수

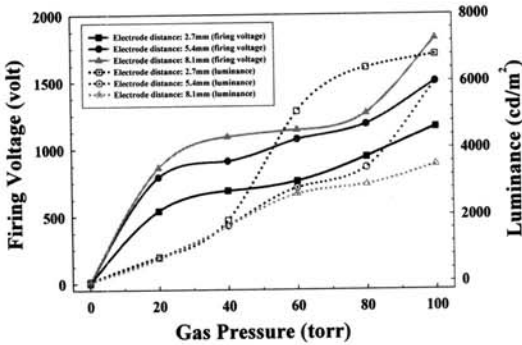


그림 6. 십자형 구조의 가스압에 따른 방전 전압과 휘도 (유지 전압 1.4 kV, 주파수 25 kHz, duty on time 25 %, 유전체 두께 150 μm , 전극간 거리 2.7 mm).

Fig. 6. The Firing Voltage and luminance of cross-type electrode structure with gas pressure at sustain voltage 1.4 kV, frequency 25 Hz, duty on time 25 %, and 150 μm dielectric thickness.

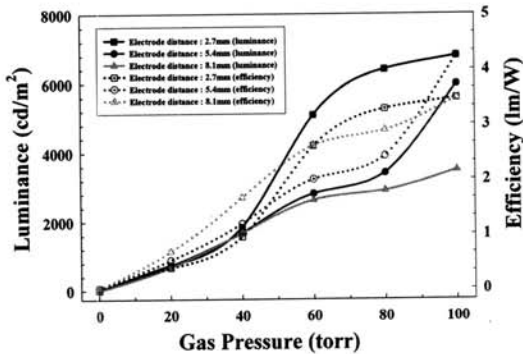


그림 7. 십자형 구조의 가스압에 따른 발광 효율과 휘도 (유지 전압 1.4 kV, 주파수 25 kHz, duty on time 25 %, 유전체 두께 150 μm , 전극간 거리 2.7 mm).

Fig. 7. The efficiency and luminance of cross-type electrode structure with gas pressure at sustain voltage 1.4 kV, frequency 25 Hz, duty on time 25 %, and 150 μm dielectric thickness.

이다. 즉, 개스 압력이 증가할수록, 그리고 전극간 간격이 멀어질수록 전자의 이동경로가 길어지고 이온과의 충돌이 많아져서 전자의 에너지는 그만

큼 약해지기 때문에 더 높은 방전개시 전압을 요구하게 된다. 또한 전극간 간격이 작아짐에 따라 패널의 휘도는 증가하게 되는데, 이는 전극간 간격이 작아질수록 셀의 크기도 작아지기 때문에 단위면적당 방전면적이 증가하게 되기 때문이다. 그러나 그림 7과 같이 발광효율은 5.4 mm의 전극간격에서 가장 높게 나왔는데, 이는 셀의 크기에 따른 휘도 변화와 전력소모 변화가 상호 보상되어 나타난 결과이다. 다시 설명하면 5.4 mm 전극 셀은 2.7 mm 전극 셀보다 단위면적 당 cell수가 적어 소비되는 전력량이 줄어들지만 적정 수준의 휘도를 유지하기 때문이며, 8.1 mm의 경우는 5.4 mm 셀보다 낮은 소비전력을 가지지만 휘도 값이 급격히 낮아지기 때문에 발광 효율은 오히려 낮아지게 되는 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서 제작한 Xe 플라즈마를 이용한 평판 형광등은 coplanar 전극을 가진 방전관으로써 여러 가지 제작 공정 중의 조건들에 따라 특성의 차이를 나타내므로 주로 연관성이 있는 전극 모양, 전극간의 거리에 따른 제작품의 품질 특성에 영향을 주는 상관관계를 파악하였고, 이 결과를 토대로 최상의 품질을 얻을 수 있는 조건을 조사하였다. 본 연구에서 얻어진 주요한 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 직선형 및 십자형 전극 구조를 비교하면, 직선형은 전극의 모서리 부분을 꼭지점으로 삼각형 구조로 플라즈마가 형성되었고 가스압력이 증가하여도 안정된 모습을 보였다. 반면 십자형은 모서리 부분을 중심으로 더 많은 플라즈마가 형성되었지만 가스압력이 증가함에 따라 부분적으로 플라즈마가 형성되지 않거나 흔들리는 불안정한 상태를 보였다.

(2) 십자형의 경우 방전이 형성 되는 지역이 많기 때문에 동일 가스압력에서 진공외선을 더 많이 생성시켜 높은 휘도 값을 가졌지만 소비되는 전력량이 크기 때문에 효율은 낮았다. 따라서 향후 십자형의 소비전력을 낮추는 연구가 필요한 것으로 판단된다.

(3) 전극간 거리의 영향은 2.7 mm, 5.4 mm, 8.1 mm 순서로 전극간 거리가 커지면 방전개시전압은 증가하고 휘도는 낮아지는 경향을 나타내었는데, 이는 전극 간 간격이 늘어남에 따라 같은 패널 면

적에서 방전을 할 수 있는 셀의 수가 감소하기 때 문인 것으로 판단된다.

(4) 발광효율 측면에서는 휘도와 전력소비량의 상관관계를 고려할 때 5.4 mm 전극간 거리가 가장 효율적인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 금오공과대학교 학술연구비 지원에 의하여 수행된 논문이며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] R. Hicks and W. Halstead, "Flat fluorescent lamp technology for LCD's", Digital Avionics Systems Conference, 1994. 13th DASC., AIAA/IEEE, p. 630, 1994.
- [2] B. Chapman, "Glow Discharge Processes", John Wiley & Sons, Inc. 1980.
- [3] S. Rauf and M. J. Kushner, "Dynamics of a coplanar-electrode plasma display panel. I. Basic operation", J. Appl. Phys., Vol. 85, No. 7, p. 3460, 1999.
- [4] S. M. Lee, Y. Cho, and S. K. Jung, "Discharge characteristics of a flat fluorescent lamp (FFL) containing penning gases", International meeting on information display; the 5th International Display Manufacturing Conference 2006, p. 675, 2006.
- [5] C. C. Liang, C. N. Huang, B. N. Lin, C. H. Fu, T. H. Tsou, W. Y. Lin, M. H. Lin, and Y. S. Kuo, "A high efficiency and low power dynamical driving scheme for carbon nanotube backlight units", International meeting on information display; the 5th International Display Manufacturing Conference 2006, p. 1202, 2006.
- [6] J. Park and S. Lim, "Design of flat fluorescent lamp(FFL) channel for LCD TV backlight unit by optical simulation", International meeting on information display; Technical Digest, p. 1330, 2006.
- [7] J. A. Castellano, "Handbook of Display Technology", Stanford Resources Inc. 1992.
- [8] T. Siga, S. Mikoshiba, and F. L. Curzon, "Improving the luminance and luminous efficacy of miniature fluorescent lamps for liquid crystal display backlighting by using a double frequency drive", Review. Sci. Inst., Vol. 69, No. 9, p. 3246, 1998.
- [9] T. Siga, S. Mikoshiba, and S. Shiado, "Mercury-free high-luminance and high-efficacy flat discharge lamp for LCD backlighting", Electronics and Communications in Japan, Part 2, Vol. 84, No. 8, p. 55, 2001.
- [10] M. Jinno, H. Kurokawa, and M. Aano, "Fundamental research on mercuryless fluorescent lamps II -- External electrode operation with pulsed dielectric barrier discharge", Jpn. J. Appl. Phys. Part 1, Vol. 7B, No. 38, p. 4608, 1999.
- [11] M. Jinno, H. Kurokawa, and M. Aano, "Fundamental research on mercuryless fluorescent lamps II -- External electrode operation with pulsed dielectric barrier discharge", Jpn. J. Appl. Phys. Part 1, Vol. 7B, No. 38, p. 4617, 1999.
- [12] F. Volkommer and L. Hitzschke, "Dielectric barrier discharge", Proc. 8th Int. Symp. Sci. Technol. Light Source, Greifswald, Germany, p. 51, 1998.
- [13] B. Jayaraman, Y. C. Cho, and W. Shyy, "Modeling of dielectric barrier discharge plasma actuator", J. Appl. Phys., Vol. 103, p. 53304, 2008.
- [14] F. Ghaleb, W. Benstaali, and A. Belasri, "Calculation of breakdown voltage in plasma display panels", Mater. Sci. Eng. C, Vol. 28, p. 791, 2008.