

논문 18-4-10

진공 인라인 실장에 의해 제작된 플라즈마 디스플레이 패널의 전기적 · 광학적 특성

Electrical and Optical Characteristics of Plasma Display Panel Fabricated by Vacuum In-line Sealing

박성현^{1,a}, 이능현¹

(Sung-Hyun Park^{1,a} and Neung-Hun Lee¹)

Abstract

The optical and electrical characteristics of plasma display panel(PDP) using the vacuum in-line sealing technology compared with the conventional sealing process in this research. This PDP consisted of MgO protecting layer by e-beam evaporation and barrier rib, transparent dielectric layer, dielectric layer, and electrodes by screen printer and then sealed off on Ne-Xe(4 %) 400 Torr and 430 °C. The brightness and luminous efficiency were good as the base vacuum level was higher, and it was to check the advantage of high vacuum level sealing, one of the strong points of the vacuum in-line sealing process. However, the brightness and luminous efficiency was dropped sharply because of a crack on MgO protecting layer by the difference of the expansion and contraction stress on high temperature in the vacuum states between MgO and substrate. Fortunately, the crack was prevented by MgO was deposited on higher temperature than 300 °C. Finally, the PDP, was fabricated by the vacuum in-line sealing process, resulted the lower brightness than processing only the thermal annealing treatment in the vacuum chamber, but the luminous efficiency was increased by the reducing power consumption with the decreasing luminous current. The vacuum in-line sealing technology was not to need the additional thermal annealing process and could reduce the fabrication process and bring the excellent optical and electrical properties without the crack of MgO protecting layer than the conventional sealing process.

Key Words : PDP, MgO, Vacuum in-line sealing

1. 서 론

최근 평판 디스플레이(flat panel display, FPD)의 발전으로 LCD 및 OLED, PDP 등이 상용화 되어 많은 분야에서 각광을 받고 있다. 특히 60인치 이상의 대화면에 유리한 PDP의 경우 많은 연구가

진행되고 있으며, 이미 삼성이나 LG에서는 100인치 급의 PDP를 개발하여 시연한 상태이다. 하지만 아직까지 PDP는 제작 시 소요되는 비용으로 인하여 대화면 디스플레이 시장에서 다른 종의 디스플레이에 비해 상당히 가격이 높은 상태이며, PDP 자체의 발광 및 전력효율은 제작 과정에서의 MgO 보호막의 수화 문제 등으로 인하여 상당히 낮은 편이다. 이에, 최근 PDP의 고 효율화와 저 가격화가 주된 관심사로 떠오르고 있다.

일반적인 실장 공정은 대기 중의 오븐에서 상·하부 패널을 봉착(seal-off)한 후, 챔버에 패널을 연결하여 진공·배기 후 가스를 주입한 뒤 마지막

1. 강원대학교 전기전자공학과
(경기도 성남시 수정구 복정동 산65)
a. Corresponding Author : ttudolli@chollian.net
접수일자 : 2005. 1. 19
1차 심사 : 2005. 3. 6
심사완료 : 2005. 3. 9

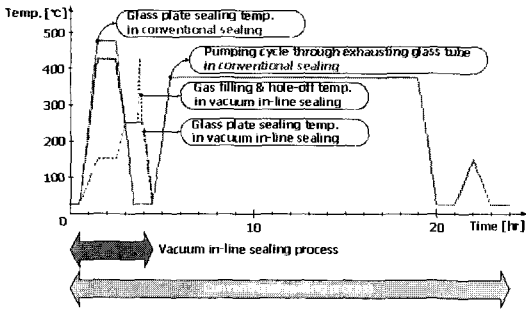


그림 1. 일반적인 실장과 진공 인라인 실장의 공정시간 및 온도에 따른 비교.

Fig. 1. Comparison of conventional sealing with vacuum in line sealing about processing time & temperature.

으로 가스 주입 봉을 막는 과정(tip-off)을 거쳐 패널의 제작이 완료된다. 이와 같이 일반적인 실장 공정은 공정단계가 많고 공정시간이 길기 때문에 공정 과정을 줄여 비용을 절감해야 하며, 또한 배기 공정과 봉착 공정이 독립적으로 이루어지는 것으로 인하여 발생할 수 있는 대기성분의 유입 및 패널 내부의 오염에 의한 발광효율 감소를 개선하여 고 효율화를 이루어야 한다. 하지만 진공 인라인 실장의 경우, 진공·배기 후의 봉착과정과 가스 주입, 가스 주입구를 막는 공정(hole-off)이 진공 챔버 내에서 한 번에 처리되기 때문에 공정시간이 짧고 공정과정 또한 매우 간단하며 대기성분의 유입이 없기 때문에 패널의 오염을 막을 수 있다. 그림 1에 일반적인 실장과 진공 인라인 실장의 공정시간 및 온도에 따른 비교를 그래프로 나타내었다.

일반적인 AC PDP의 구조는 그림 2와 같이 상부와 하부로 나눌 수 있다. 상부의 경우 상판유리와 투명전극(transparent electrode), 상부전극(bus electrode), 투명유전체(dielectric layer), 보호막(protecting layer) 순으로 이루어져 있고, 하부의 경우 하판유리와 하부전극(address electrode), 유전체(dielectric layer), 격벽(barrier rib), 형광체(RGB phosphor) 순으로 이루어져 있다. 상부와 하부 사이에는 Ne과 Xe을 혼합가스의 형태로 주입하여 상부 및 하부 전극에 전압이 가해질 때, 혼합가스가 플라즈마를 형성하여 VUV(vacuum ultra violet)을 생성하고, 생성된 VUV는 형광체를 여기시켜 가시광의 빛을 나타나게 한다.

PDP의 전기적·광학적 효율을 높이는 방법으로

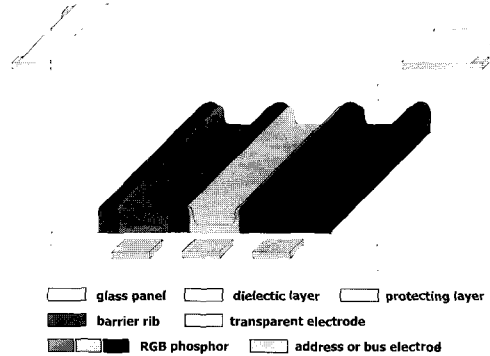


그림 2. AC PDP의 구조.

Fig. 2. Structure of AC PDP.

는 플라즈마를 유지하는 데 중요한 변수의 하나인 이차전자의 방출효율을 높이는 것이다. 이는 MgO 보호막의 상태에 따라 상당히 좌우된다. 현재 이러한 이차전자 방출효율을 높이기 위한 연구가 여러 분야에서 많이 진행되고 있다. 예를 들면, MgO 대신에 MgO+ZrO₂ 나 MgO+Al₂O₃, Al₂O₃ 등을 이용하는 것과 같이 보호막의 재료를 변화시키는 방법과 PDP 제조공정 상에서 MgO 보호막의 수화를 최대한 방지하는 방법으로 MgO 막 형성 후 바로 배기봉착에 들어갈 수 있는 진공 인라인 실장 기술이 있다. 이는 MgO 막이 공기 중에 노출이 되지 않고 진공상태로 유지되다가 바로 실장되어지기 때문에 수화를 확실히 방지할 수 있다[1 3].

본 연구에서는 MgO 보호막의 수화를 방지하기 위하여 진공 인라인 실장 기술을 이용하여 제작한 PDP의 전기적·광학적 특성을 측정하여, 일반적인 실장을 이용한 PDP의 특성과 비교분석하였다.

2. 실험

본 연구에서는 크기가 60(W)×90(H)×2.8(T) mm 의 상·하판용 유리(ASAHI glass)를 사용하여, 주 발광영역이 35(W)×35(H) mm인 2인치 테스트(test) 패널을 제작하였다.

PDP의 제작공정은 크게 상부와 하부 패널 제작과 배기·봉착으로 구분할 수 있다. 상부 패널은 상판용 유리에 증착되어 있는 ITO를 사진식각공정(photo-lithography)을 이용하여 투명전극을 형성하였고, 그 위에 스크린프린터를 사용하여 버스

(bus) 전극(Ag)과 투명유전체를 형성하였다. 그 후 전자빔 증발·증착법을 이용하여 실온에서 MgO 보호막을 증착하였으나 균열이 발생하여, 다시 기판온도 300 ℃에서 MgO 보호막을 형성하여 제작하였다. 하부 패널은 하판용 유리에 스크린프린터(screen printer)를 사용하여 어드레스(address) 전극(Ag)과 백색유전체, 격벽, 형광체 순으로 형성하여 제작하였다.

일반적인 실장 법과 진공 인라인 실장 법을 비교하기 위해서 동일한 조건으로 3개의 테스트 패널을 제작하였다. 우선 각각의 패널은 실장용 챔버에 장착하여 6×10^{-7} Torr까지 진공·배기 하였다. 그 후 첫 번째 테스트 패널은 열처리 과정 없이, 두 번째 테스트 패널은 320 ℃에서 2시간 동안 열처리 과정을 거친 뒤, Ne/Xe(4 vol%)를 400 Torr 주입 후 발광특성을 측정하였으며, 마지막 테스트 패널은 430 ℃에서 2시간 동안 유지 후 봉착 과정을 거친 뒤 Ne/Xe(4 vol%)를 400 Torr 주입 후 가스 주입구를 막는 공정(hole-off)을 진행한 뒤 발광특성을 측정하였다.

전기적·광학적 특성을 측정하기 위해서 완성된 패널의 상부전극(bus electrode)에 AC 구동 펄스(driving pulse)를 가하였고, 하부전극은 접지(ground)하였다. 각 테스트 패널의 방전 개시 전압(firing voltage)과 방전 유지 전압(sustain voltage)은 TDS-540C 오실로스코프(oscilloscope)를 사용하여 측정하였고, 광학특성은 CS-100A 휘도계(chroma-meter)를 사용하여 휘도를 측정하고, 발광효율은 식 (1)을 통하여 계산하였다. 그림 3에 진공 챔버 내의 발광패널에 대한 측정 시스템을 나타내었다.

$$\eta = \frac{\pi \times B \times S}{\int_0^T v(t) \times 2i_L(t) dt \times f} \text{ [lm/W]} \quad (1)$$

여기서, η : 발광효율

B : 휘도 [cd/m^2]

S : 발광면적 [m^2]

$v(t)$: 인가전압 [V]

$i_L(t)$: 발광전류 [A]

f : 인가전압의 주파수 [Hz] 이다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 우선 진공 분위기에서의 실장이 패널에 미치는 영향을 분석하여 진공 인라인 실장의 PDP에 적용 가능성을 알아보기 위해 방전가스

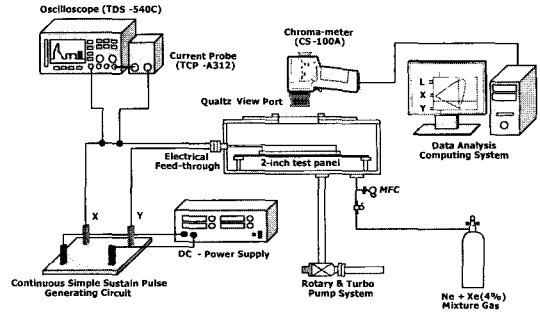


그림 3. 진공 챔버 내의 발광패널에 대한 측정 시스템.

Fig. 3. Measurement system of luminous panel in vacuum chamber.

주입 전의 초기 진공도에 따른 패널의 발광특성을 측정하였다.

그림 4와 같이 초기 진공도에 따른 PDP의 발광 특성(휘도)을 알아본 결과, 초기 진공도가 고진공으로 갈수록 휘도가 증가함을 알 수 있다. 또한, 그림 5에서와 같이 초기 진공도에 따른 PDP의 발광효율을 알아본 결과, 휘도의 증가에도 발광전류의 감소가 크게 작용하여 발광효율 또한 증가함을 알 수 있다. 이는 진공 인라인 실장의 장점 중 하나인 고진공 실장에 의한 대기성분의 최소화가 패널에 미치는 영향이 매우 우수함을 알 수 있으며, 이는 PDP의 전기적·광학적 특성을 개선하기 위해서는 진공 인라인 실장을 활용한 고진공 실장 기술이 필요함을 알 수 있다.

다음은 진공 인라인 실장과 일반적인 실장 방법이 각각 패널에 미치는 영향을 비교해보았다. 두 실장법의 큰 차이는 MgO 보호막의 수화에 있기 때문에 동일한 조건에서 제작된 두개의 테스트 패널을 준비하여, 첫 번째 패널은 320 ℃에서 2시간 동안 열처리 과정을 거친 뒤에, 두 번째 패널은 열처리 과정을 거치지 않고, 가스 주입 후 AC 전압을 인가하여 챔버 내부에서 전기적·광학적 특성을 측정하여 그림 6에 발광특성과 그림 7에 발광효율을 나타내었다. 또한 본 연구에서는 실제로 진공 인라인 실장 기술을 이용하여 테스트 패널을 제작한 뒤 챔버 내부에서 전기적·광학적 특성을 측정하여 그림 6과 7에 같이 나타내어 위 두 결과와 비교·분석하였다.

그림 6과 7의 결과를 보면 예상과 다르게, 실장(sealed at 430 ℃)된 패널이나 열처리(annealed at 320 ℃)된 패널이 열처리 안한(no-annealing)

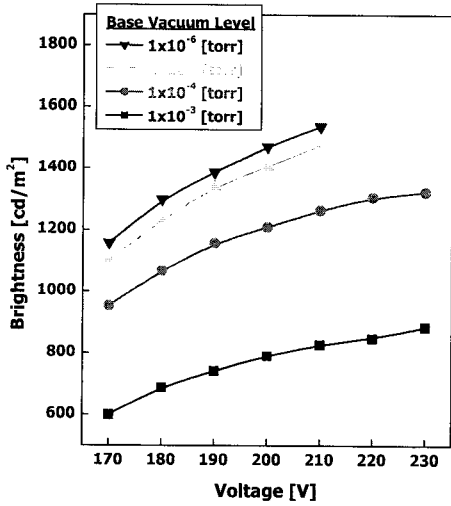


그림 4. 초기 진공도에 따른 패널의 휘도특성.
Fig. 4. Brightness of PDP about base pressure.

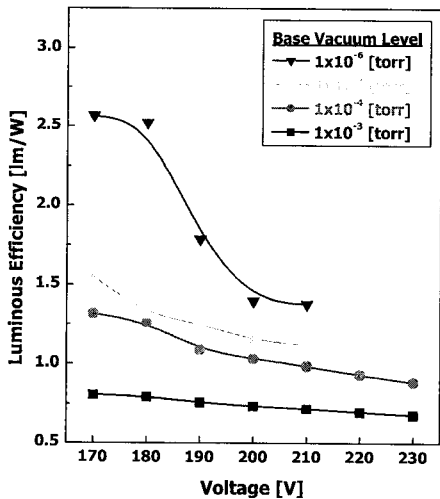


그림 5. 초기 진공도에 따른 패널의 발광효율.
Fig. 5. Luminous efficiency of PDP about base pressure.

패널보다 휘도가 더 낮게 나왔고, 발광효율 또한 불안정한 형태를 보였다. 이는 고진공에서의 실장 및 열처리 과정에서의 높은 온도(약 300~430 °C)로 인하여 MgO 보호막과 기판(substrate, 유전체 혹은 glass)의 온도에 따른 물질 내부응력 변화의 차이에 의해 MgO 보호막에 균열(crack)이 발생하여 오히려 낮은 휘도와 발광효율의 저하를 나타낸 것으로 보인다. MgO에 발생한 균열의 광학현미경

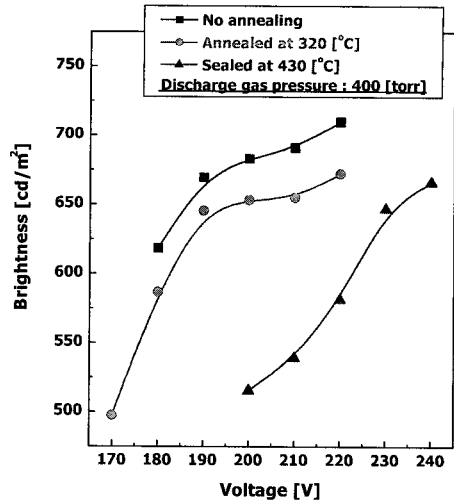


그림 6. 열처리 안한 패널과 320 °C에서 열처리된 패널, 430 °C에서 실장된 패널의 휘도특성.
Fig. 6. Brightness of no-annealing, annealed at 320 °C and sealed at 430 °C PDP.

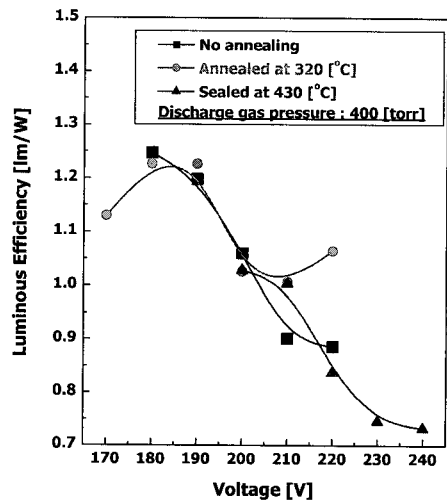


그림 7. 열처리 안한 패널과 320 °C에서 열처리된 패널, 430 °C에서 실장된 패널의 광효율.
Fig. 7. Luminous efficiency of no-annealing, annealed at 320 °C and sealed at 430 °C PDP.

과 전자현미경(SEM) 사진을 그림 8에 나타내었다. MgO 막과 기판과의 온도에 따른 응력변화의 차이를 줄여 MgO 보호막의 균열을 방지하기 위해서

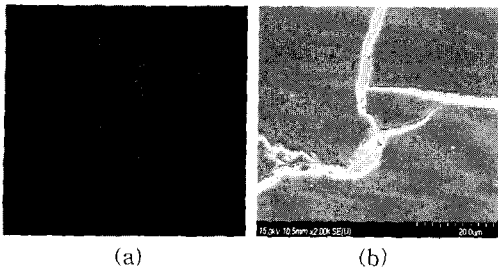


그림 8. MgO crack. (a) 광학현미경 사진, (b) SEM 사진.
 Fig. 8. MgO crack. (a) optical microscope view, (b) SEM view.

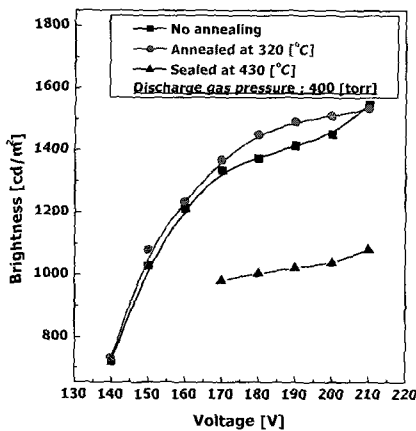


그림 9. 열처리 안한 패널과 320 °C에서 열처리 된 패널, 430 °C에서 실장 된 패널의 휘도 특성.

Fig. 9. Brightness of no-annealing, annealed at 320 °C and sealed at 430 °C PDP.

표 1. 열처리 안한 패널과 320 °C에서 열처리 된 패널, 430 °C에서 실장 된 패널의 전기적 특성.

Table 1. Electrical properties of no-annealing, annealed at 320 °C and sealed at 430 °C PDP.

Panel condition	Firing voltage	Sustain voltage
no annealing	224 V	141 V
annealed at 320 °C	213 V	135 V
sealed at 430 °C	218 V	170 V

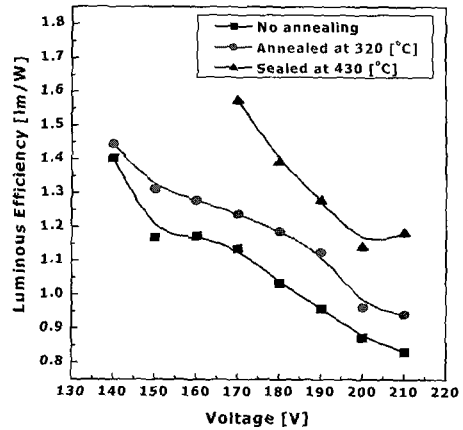


그림 10. 열처리 안한 패널과 320 °C에서 열처리 된 패널, 430 °C에서 실장 된 패널의 발광 효율.

Fig. 10. Luminous efficiency of no-annealing, annealed at 320 °C and sealed at 430 °C PDP.

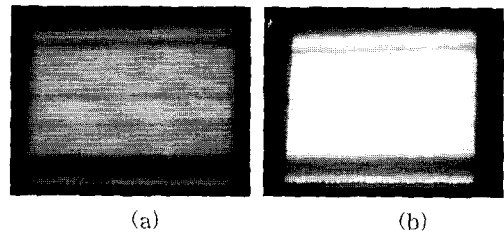


그림 11. 패널의 휘도비교. (a) 열처리 안한 패널, (b) 320 °C에서 열처리 된 패널.

Fig. 11. Comparing brightness of PDP. (a) no-annealing, (b) annealing at 320 °C.

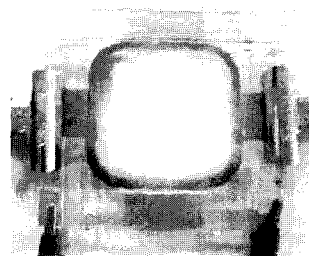


그림 12. 진공 인라인 실장으로 제작된 패널의 발광모습.

Fig. 12. Luminous figure of PDP fabricated by vacuum in-line sealing process.

실온에서 증착했던 MgO 막을 높은 온도(약 300 °C)에서 증착하여 SEM (scanning electron microscope)으로 비교·관찰하였지만 큰 차이는 없었다. 하지만 고밀도의 균질한 MgO 보호막이 형성되었음을 패널의 발광특성을 측정하여 짐작 할 수 있었다[4].

그림 9에는 균열 방지를 위해 고온에서 형성한 MgO 보호막을 적용한 패널의 휘도특성을 측정하여 나타내었으며, 표 1에 각 패널의 전기적 특성을 나타내었다. 측정된 각 패널의 발광특성을 보면 열처리 안한 패널(no annealing)의 휘도와 320 °C에서 2시간 동안 열처리 된 패널(annealed at 320 °C)의 휘도는 큰소한 차이를 보였고, 또한 전기적 특성을 비교하여 보면 열처리 안한 패널보다 열처리 된 패널의 방전 개시 전압이나 유지 전압이 더 낮게 측정되었다. 이는 열처리 공정이 MgO 보호막의 수화를 상당수 제거하여 특성 향상의 효과를 나타내었다고 볼 수 있다. 반면에, 430 °C에서 실장 된 패널(sealed at 430 °C)의 휘도를 측정된 결과, 약 1000 cd/m² 정도로 다른 패널의 결과에 비해 낮게 나타났다. 또한 전기적 특성도 실장 된 패널의 측정값은 더 높게 나왔다. 이는 패널의 실장 후 측정 시 나타나는 일반적인 현상으로 봉착 및 hole-off 과정에서 생긴 패널 내부의 가스량의 변화 및 형광체의 오염 등에 의한 것으로 생각된다.

하지만 그림 10과 같이 각 테스트 패널의 발광 효율 값을 비교하여 보면 열처리 안한 패널보다 열처리 된 패널의 특성이, 그보다 실장 된 패널의 특성이 더 좋게 나타났다. 이는 MgO 막의 수화가 어느 정도 제거되어 이차전자의 방출효율이 증가하여 플라즈마가 안정성을 보이며 발광전류가 감소하여 발광효율이 높아진 것으로 생각된다.

그림 11에는 동일한 전압에서 열처리 안한 패널과 열처리 된 패널의 발광사진을 비교하였다. 열처리 안한 패널보다 열처리 된 패널이 육안으로도 더 밝게 나타났다. 그림 12에 최종적으로 제작된 2인치 패널의 발광 모습을 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 진공 인라인 실장 기술을 이용하여 제작한 플라즈마 디스플레이 패널(PDP)의 전기적·광학적 특성을 측정하여, 진공 인라인 실장의 PDP 적용 가능성을 알아보았으며, 일반적인 실장 방법을 이용한 PDP의 특성과 비교·분석하였다.

실장 전 초기 진공도에 따른 패널의 발광특성을 측정된 결과, 고진공으로 갈수록 발광특성이 우수함을 알 수 있었다. 하지만, 실장 시 높은 분위기 온도로 인하여 MgO에 균열(crack)이 발생하였으나 고온에서 MgO를 증착하여 문제를 해결하였다. 또한 진공 실장과 일반적인 실장의 큰 차이점인 열처리(annealing) 효과는 MgO의 특성에 좋은 영향을 주어 더 우수한 전기·광학적 특성을 보였다. 진공 인라인 실장 기술은 추가적인 열처리 공정이 필요하지 않기 때문에 공정의 단축과 부수적으로 MgO의 수화를 제거하여 PDP의 고효율·저가격화를 지향 할 수 있다.

참고 문헌

- [1] S. J. Kwon, K. S. Ryu, T. H. Cho, and J. D. Lee, "Fabrication of FED panel and vacuum evaluation inside the panel", J. of Korean Phys. Soc., Vol. 33, No. 92, p. 440, 1998.
- [2] S. J. Kwon, H. C. Yang, and K. W. Whang, "Plasma display panel vacuum in-line sealing technology by using a bubble-reduced frit", J. Vac. Tech. A, Vol. 21, No. 1, p. 206, 2003.
- [3] S. J. Kwon, H. C. Yang, M. S. Lee, D. C. Jung, K. W. Whang, K. S. Lee, S. H. Hong, and Y. B. Kwon, "Vacuum in-line sealing technology with auxiliary heating line for PDP packaging", SID'02 digest paper, p. 320, 2002.
- [4] M. J. Lee, S. Y. Park, S. G. Kim, and H. J. Kim, "Effect of stress of MgO protecting layer on discharge characteristics of AC-PDP", Proc. IMID'04 paper, p. 540, 2004.
- [5] C. H. Park, Y. K. Kim, B. E. Park, W. G. Lee, and J. S. Cho, "Effects of MgO annealing process in a vacuum on the discharge characteristics of AC PDP", Materials Science and Engineering B, Vol. 60, No. 2, p. 149, 1999.