

AC PDP 유전층의 절연파괴 전압과 투명도에 관한 연구

論 文
48C-1-7

A Study on the Dielectric Breakdown voltage and Transparency of Dielectric Layer in AC PDP

朴正后[§], 李盛鉉^{*}, 金圭燮^{**}, 孫濟奉^{***}, 曹井守[§]

Chung-Hoo Park, Sung-Hyun Lee, Gyu-Seup Kim, Je-Bong Sohn, Jung-Soo Cho

Abstract - The dielectric layers in AC plasma display panel(PDP) are essential to the discharge cell structure, because they protect metal electrodes from sputtering by positive ion bombarding in discharge plasma and form a sheath of wall charges which are essential to memory function of AC PDP. This layer should have high dielectric breakdown voltage, and also be transparent because the luminance of PDP is strongly correlated this layer. In this paper, we discussed the dielectric breakdown voltage and transparency of the dielectric layer under various conditions. As a result, on the 15 μ m thickness, the minimum dielectric breakdown voltage was 435V and the transmission coefficient was about 80% after 57 0 $^{\circ}$ C firing process. It can be proposed that the reasonable dielectric thickness in AC PDP is 15 μ m because it has about 75V margin on the maximum applied voltage.

Key Words : AC PDP, Dielectric breakdown voltage, Transmission coefficient

1. 서 론

글로우 방전에서 생성된 진공 자외선이 형광체를 여기시켜 가시광을 내게 하는 color AC PDP의 원리는 형광등의 원리와 유사하다. 그러나, 형광등의 경우 전극간 거리가 길게 되므로 열전자 방출과 양광주를 이용하는 반면에 color AC PDP는 전극간 거리가 100 μ m 정도로 적어 부글로우를 이용하는 점에서는 서로 차이점을 가지고 있다.

AC PDP에서 방전전극은 오존발생기와 같이 유전체로 덮여져 있고, 방전은 이 유전층의 표면에서 행해진다. 이러한 유전층을 도입함으로써 금속전극이 sputter되는 것을 막는 역할뿐 아니라, 대화면 패널에 대해서도 휘도의 저하 없이 고화질을 구현하도록 하는데 용이한 메모리 효과를 얻을 수 있다. 특히, AC PDP에서는 유전체의 2차전자방출계수 및 내스파트링성의 향상을 목적으로 MgO박막을 유전체 위에 코팅하여 사용하고 있다.

2. 실험 방법

그림 1은 표면방전형 AC PDP의 개략도와 방전이 발생하기 전의 cell 내의 정전용량의 증가회로도를 나타내고 있다. 본 실험에서는 전면 유리기판에 10쌍의 디스플레이전극을

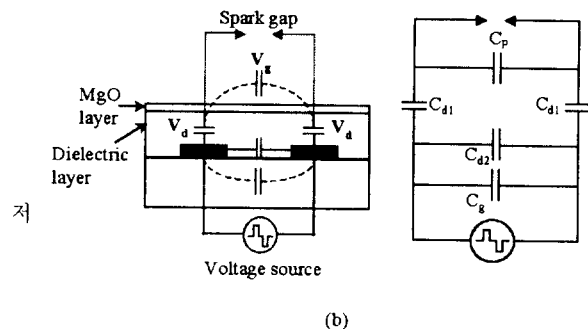
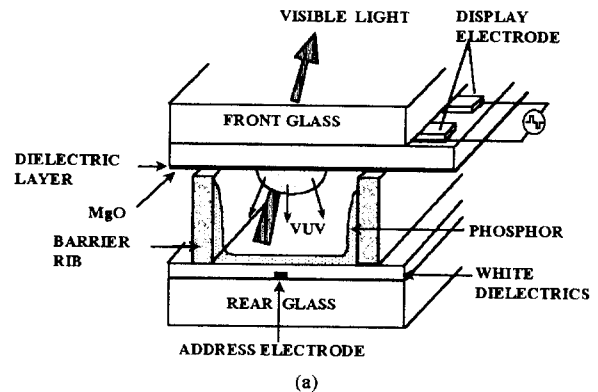


그림 1 AC PDP의 개략도와 C 증가회로.

Fig. 1 Schematic diagram and C equivalent circuit representation of AC PDP.

먼저 프린팅 기법을 통해서 형성한 후 소성공정을 행하였으며 그 위에 유전층도 프린팅법으로 형성하였다. 본 실험에

* 準 會 員 : 釜山大 工大 電氣工學科 碩士課程

** 正 會 員 : 東明大學 電氣科 教授

*** 正 會 員 : 釜山情報大學 電氣·電子系列 教授

§ 正 會 員 : 釜山大 工大 電氣工學科 教授·工博

接受日字 : 1998년 4월 22일

最終完了 : 1998년 11월 27일

서 형성된 디스플레이전극의 폭은 $300\mu\text{m}$ 이고, 전극사이의 간격은 $100\mu\text{m}$ 이다. 전극의 재료는 Ag이고, 유전체의 재료로는 $\text{SiO}_2\text{-PbO-B}_2\text{O}_3$ 계열의(Noritake사, NP7972C와 NP7973D) paste를 사용하였다. 배면 유리기관에는 폭이 $150\mu\text{m}$, 높이가 $200\mu\text{m}$ 이며 사이 간격이 $350\mu\text{m}$ 인 격벽을 sand-blast법으로 형성하였다. 그림 1(b)에서 C_{d1} 은 유전층의 capacitance, C_{d2} 는 유전층으로 기인한 방전전극사이의 capacitance, C_g 는 유리를 통한 capacitance이고, C_p 는 방전공간의 capacitance를 나타낸 것이다.

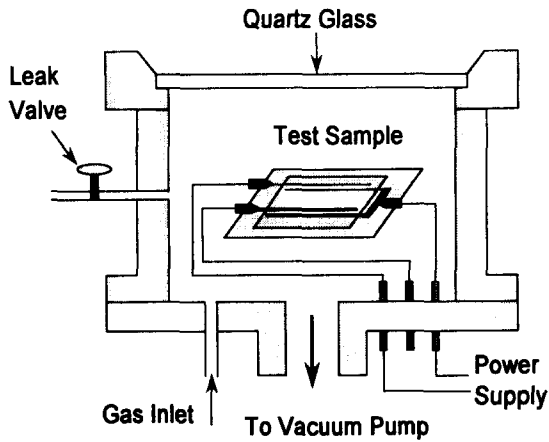


그림 2 방전실험용 진공 챔버의 개략도
Fig. 2 Schematic diagram of vacuum chamber for discharge

그림 2는 절연파괴 실험에 사용한 직경 200mm, 높이 80mm의 원통형의 소형 진공 chamber의 개략도이다. 본 실험에서 사용된 전원은 20Hz에서 20kHz까지 가변이 가능한 AC 정현파 전원과 duty비가 0.5인 AC 구형파 전원을 사용하였다. 투과율 측정은 스펙트로메타(ARC사)를 사용하였고, 유전체의 C-V특성을 조사하기 위해 4194-A형 model(HP사)의 C-V측정 계기를 사용하였다. 표준실험조건은 두께 $15\mu\text{m}$ 혹은 $20\mu\text{m}$, 가스압 100torr, 인가주파수 10kHz, 유전체의 소성온도는 570°C , MgO층의 두께는 2000Å로 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 3은 AC 정현파를 인가했을 때 유전층 두께에 따른 유전층의 절연파괴전압을 나타내고 있다. 방전이 발생한 후부터 유전층 표면에 벽전하가 형성되어 방전이 소멸하기까지 방전 공간은 거의 단락상태와 같다. 따라서, 그림 1(b)의 C 등가회로에서 C_p 는 무시할 수 있는 값이 되므로 인가전압의 대부분은 유전층 C_{d1} 에 인가되므로 인가전압이 증가하면 유전체가 절연파괴에 이르게 된다. 특히, 유전층이 두꺼울수록 절연파괴전압이 지수 함수적으로 상승하지 않는 것은 프린팅 및 소성과정에서 발생한 내부 미세 보이드가 그 원인으로 생각한다. 그림 3에서 MgO층의 유무에 따라 유전층의 절연파괴전압이 차이를 나타냄을 알 수 있다. 유전체상의 MgO는 2차 전자방출계수가 유전체에 비해 높기 때문에 방

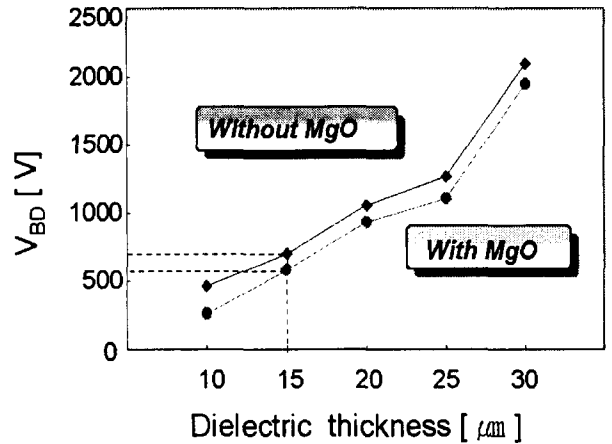


그림 3 유전층 두께에 따른 유전층 절연파괴전압
Fig. 3 Dielectric breakdown voltage versus thickness of dielectric layer

전개시전압과 유지전압은 낮게 된다. 즉, 그림 1의 $V=2V_d + V_g$ 의 관계에서 MgO층이 있을 경우 V_g 값이 낮게 되므로 결과적으로 MgO가 있는 유전층에 인가되는 전압은 MgO가 없는 경우에 비해서 항상 높게 되고, 따라서 유전층의 절연파괴전압은 저하하게 된다.

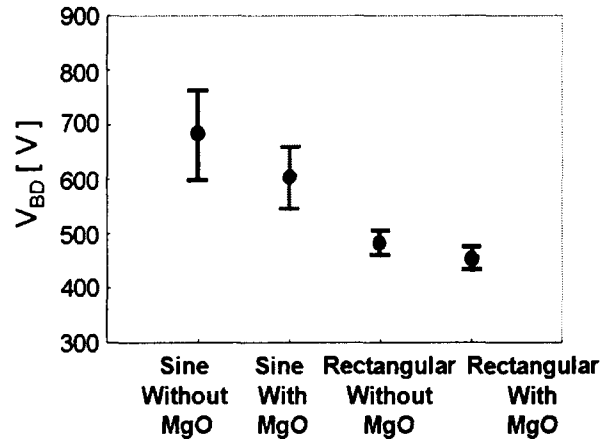


그림 4 인가전압원에 따른 유전층 절연파괴전압
Fig. 4 Dielectric breakdown voltage versus applied voltage source

그림 4는 $15\mu\text{m}$ 두께 유전층에 정현파 및 구형파를 각각 인가했을 경우 유전층의 절연파괴전압을 나타내고 있다. 그림에서 현재 AC PDP구동에서 사용되고 있는 AC 구형파 인가시에 절연파괴전압이 정현파 인가시보다 낮아지는 것을 알 수 있다. 일반적으로, 방전공간내의 전자온도와 전자밀도는 전계에 의해서 크게 좌우된다. 따라서 dV/dt 가 정현파보다 상대적으로 더 큰 구형파가 인가될 경우에는 전자온도의 상승과 더불어 그에 따른 Townsend의 α process에 의한 이온화가 증가한다. 이는 곧 절연파괴 직전까지 방전전류를 증가시키는 결과가 되고, cell 내부의 유전층상에 하전입자의 축적을 증가시킴으로써 벽전압을 상승시키게 된다. 이러

한 벽전압은 다음 역극성의 펄스전압과 더해져서 방전공간 내 전압을 더욱 더 상승시키고 이온화를 더욱 더 증가시키는 원인이 된다. 따라서, 구형파는 정현파에 비해서 방전시에 cell 내부의 전자온도를 더 높게 되고 이로 인해서 하전입자들의 축적에 의한 벽전압을 상승시킨다. 인가전압의 상승과 더불어 더욱 이온화는 증가하여 절연파괴직전에 방전공간에서 방전에 미치게 되는 전압은 상대적으로 감소하고 유전층에 인가되는 전압이 증가하여 구형파의 경우가 정현파의 경우보다 유전층의 절연파괴전압을 감소시키게 된다고 생각된다. 그 원인을 좀 더 분석하면 다음과 같다.

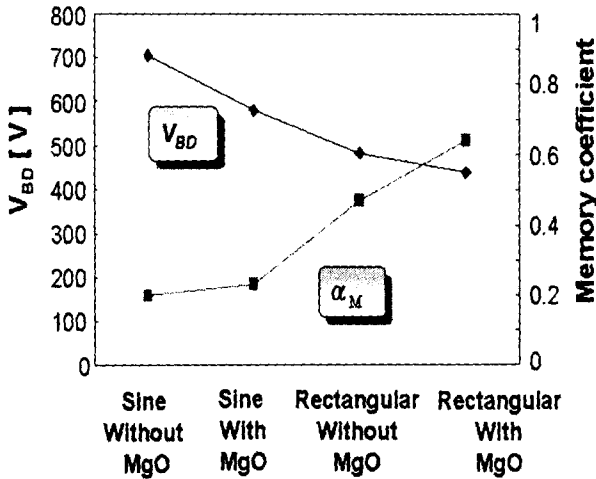


그림 5 메모리 계수와 유전층 절연파괴전압과의 관계
Fig. 5 Relationship between dielectric breakdown voltage and memory coefficient

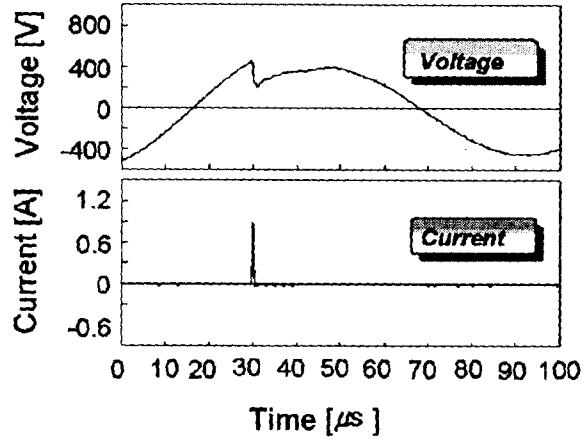
그림 5에서는 정현파 인가시와 구형파 인가시 벽전하에 의한 메모리 계수와 유전층 절연파괴전압과의 상관관계를 나타내고 있다. 여기서 메모리 계수는 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$\alpha_M = \frac{V_f - V_R}{V_H/2} \quad (1)$$

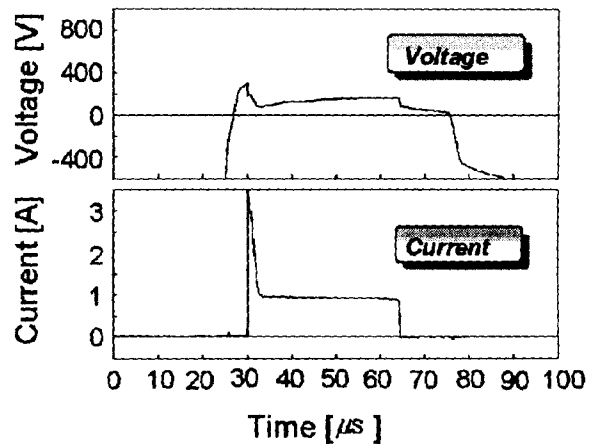
(단, V_f는 방전개시 전압, V_R는 최소방전유지전압)

이 그림에서 알 수 있듯이 구형파 인가시가 정현파 인가시보다 방전전류와 벽전하에 의한 메모리 계수가 더 크다는 것을 알 수 있다.

그림 6은 동일시료에 대해서 정현파 전압 660V, 구형파 전압 610V에서 절연파괴가 일어날 때의 전압과 전류 파형이다. 그림을 통해서 볼 때 구형파 인가시 절연파괴 전류의 피크치가 3.5A인데 비해서 정현파의 경우는 약 1.5A정도로서 두 전압원 사이에 절연파괴시 전류량이 현저히 차이가 남을 알 수 있다. 또한, 구형파의 경우에는 절연파괴 이후에도 40μs 정도 DC 방전을 행하는 것을 볼 수 있다. 단, 측정용 전압원이 이상적인 전압원이 아닌 관계로 그림에서 절연파괴 이후에 용량부족에 의한 전압 파형의 왜곡이 발생하였



(a) 정현파가 인가되었을 때
(a) When the sine wave was applied



(b) 구형파가 인가되었을 때.
(b) When the rectangular wave was applied.

그림 6 유전층 절연파괴시의 전압·전류파형
Fig. 6 Voltage and current curves during the dielectric breakdown

다. 하지만 정현파와 구형파의 전류값의 상대적인 비교는 가능하리라 생각된다.

그림 7은 정현파 인가시와 구형파 인가시 절연파괴 동안의 임피던스 변화율을 나타내고 있다. 정현파의 경우 절연파괴가 발생하기 직전의 초기 전류값이 5.26mA 정도였고, 구형파의 경우에는 15.6mA 정도였다. 이 결과도 벽전하에 의한 cell내 인가전압의 차이로 발생하는 방전전류의 차이에 기인한 것으로 생각된다. 이 때문에 절연파괴가 일어나는 시점의 초기 임피던스도 구형파 인가시가 약 20kΩ 정도로 정현파 인가시 110kΩ에 비해서 낮은 값을 보였다. 또한, 절연파괴로 발달해 가는 시간도 구형파가 약 10ns 정도가 소요되는데 반해서 정현파의 경우 70ns 정도가 소요됨을 알 수 있었다.

그림 8은 유전체 소성온도에 따른 절연파괴전압을 나타내고 있다. 현재 PDP에서 사용되고 있는 전후면 유리의 재료

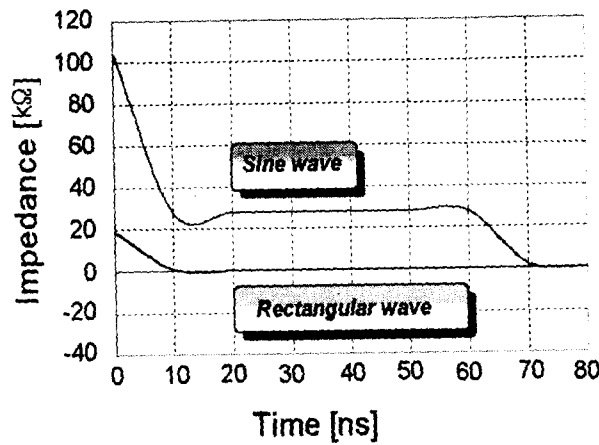


그림 7 절연파괴시의 임피던스 변화율
Fig. 7 Variable rate of impedance during the breakdown

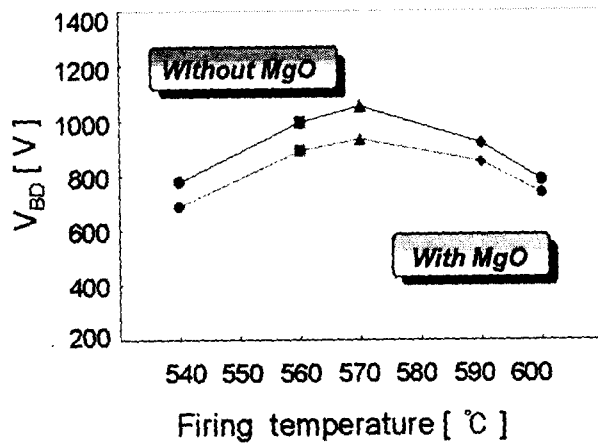


그림 8 소성온도에 따른 유전층 절연파괴전압
Fig. 8 Dielectric breakdown voltage versus firing temperature.

는 3mm 두께의 소다석회유리나 혹은 PD200 정도이다. 그런데 이런 유리의 점성은 온도가 상승함에 따라 감소하게 되고, 외점과 서냉점 사이의 온도에서는 외부의 힘에 의해서 변형이 일어날 수 있으며, 서냉점 이상의 온도에서는 자체의 무게에 의한 변형이 일어난다. 소다석회유리의 경우에는 그 온도가 554°C 정도이고 PD200의 경우에는 약 620°C 부근이다. 따라서, 통상 유전체나 적벽, 형광체 등의 소성온도는 600°C 이하에서 행해져야만 한다.[1] 본 실험에서는 소다석회유리를 사용하였고, 소성료의 특성상 전극은 590°C에서 유전체는 570°C 부근에서 소성을 행하였다. 실험결과 가장 높은 절연파괴전압은 570°C에서 소성되어진 시료에서 얻어졌으며, 소성온도가 그 보다 높거나 낮으면 절연파괴전압이 저하하는 것을 알 수 있었다. 이는 낮은 소성온도에서는 그림 9에서 알 수 있듯이 유전체 재료의 완전용해가 이루어지지 못하기 때문에 유전층의 두께가 불균일하게 되며, 그 내부에는 기포나 공동의 수가 많아져서 상대적으로 두께가 얇은 부분이나 기포 혹은 공동이 존재하는 부분에서 먼저 절연파괴를 일으키는 것으로 사료된다.[2] 더욱이 소성온도가 최적값에 비해

서 더 높은 경우에는 유전체가 과도하게 용해됨으로써 약 6 μm ~7 μm 정도의 두께를 가지는 방전전극 상의 실제 유전층 두께가 감소하게 될 뿐 아니라, 전극재료의 확산현상 등으로 인해서 절연내력이 저하하는 것으로 사료된다.



(a) 540°C firing (b) 570°C firing (c) 600°C firing

그림 9 소성온도에 따른 시료의 단면
Fig. 9 Cross section of sample as a firing temperature

그림 9는 소성온도에 따른 유전층의 단면 SEM 사진을 나타내고 있다. 그림 9(a)는 540°C에서 소성된 유전층의 단면 SEM사진으로 소성 부족에 의해 막질이 고르지 못한 것을 볼 수 있다. 반면에 소성온도가 높은 (b)와 (c) 그림으로 갈수록 막질이 개선되어짐을 볼 수 있으나 (c)의 경우에는 앞서 언급했듯이 과도한 용해로 인해서 오히려 절연내력의 저하를 가져오게 된다.

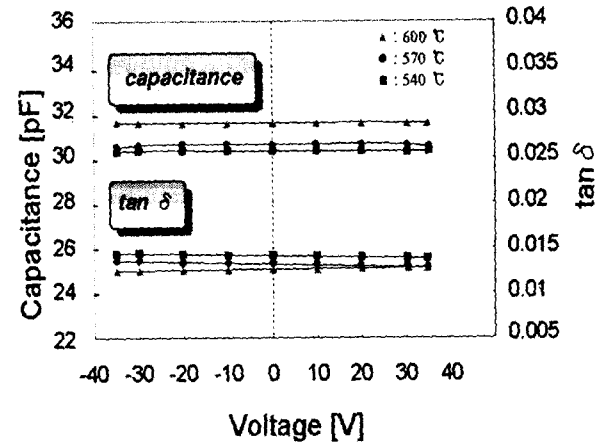


그림 10 소성온도에 따른 C-V 특성
Fig. 10 C-V characteristics as a firing temperature

그림 10은 소성온도에 따른 유전체의 C-V 특성으로서 AC 정현파 10kHz를 인가했을 때의 측정값들이다. 그림에서 알 수 있듯이 소성온도에 따라 유전체 재료의 특성상의 변화 즉, 정전용량이나 유전손실 값의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

그림 11은 정현파 인가시 주파수에 따른 유전층 절연파괴전압을 나타내고 있다. 100Hz에서 20kHz까지 주파수를 변화시킬 경우 100Hz와 1kHz 사이에서 약간의 변화를 보이고 있고, 그 외 구간에서는 큰 차이를 나타내고 있지는 않았다. 그러나, 전체적으로 주파수가 상승함에 따라 절연파괴전압이 저하하는 것을 알 수 있었다. 정현파 뿐만 아니라 구형파 인가했을 경우 15 μm 두께의 유전층에 대해서 10kHz와

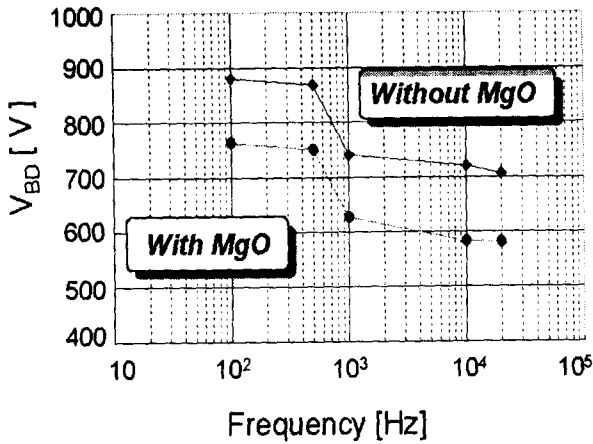


그림 11 인가전압의 주파수에 따른 유전층 절연파괴전압
 Fig. 11 Dielectric breakdown voltage versus frequency of applied voltage

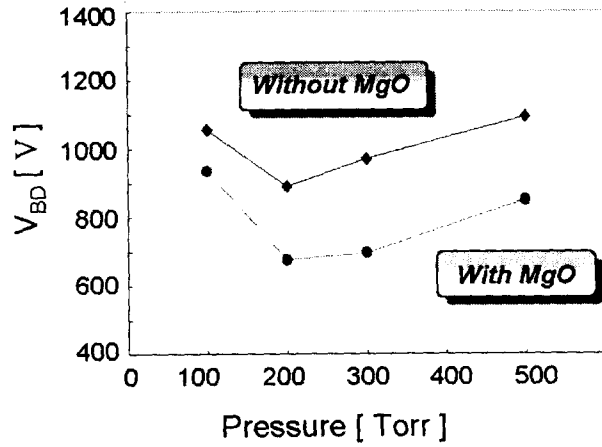


그림 13 가스 압력에 따른 유전층 절연파괴전압
 Fig. 13 Dielectric breakdown voltage versus gas pressure

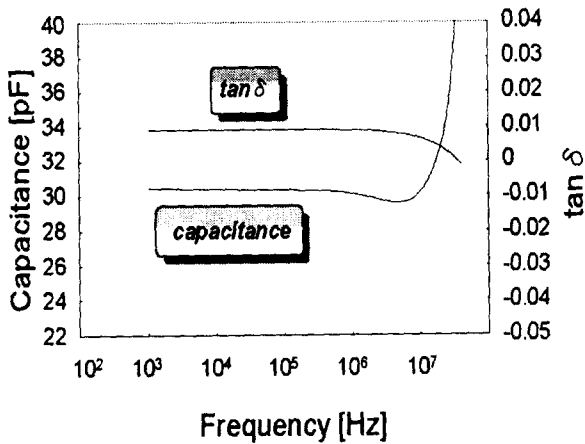


그림 12 인가 주파수에 따른 커패시턴스와 tan δ
 Fig. 12 Capacitance and tan δ versus frequency

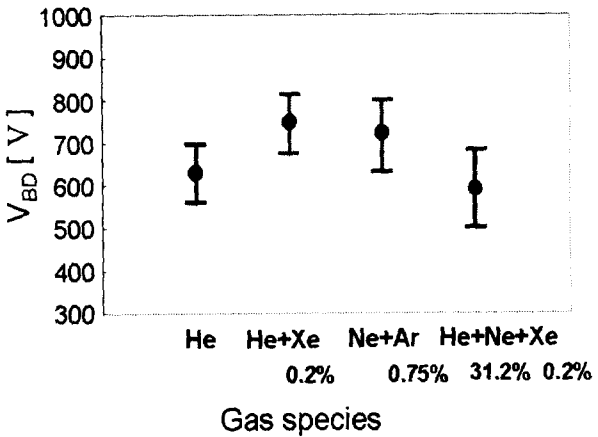


그림 14 동작 가스 종류에 따른 유전층 절연파괴전압
 Fig. 14 Dielectric breakdown voltage versus working gas species

50kHz 사이에서 각각 438V와 435V의 절연파괴전압을 나타내어서 약간의 감소추세를 나타내고 있었다. 이것은 주파수가 상승함에 따라 유전층의 임피던스가 변함으로써 유전층에 인가되는 전계의 차이에 기인한 현상으로 사료된다.[3] 본 실험에서 사용되고 있는 유전체 재료의 경우 인가전압의 주파수가 MHz order 이하에서는 주파수에 따른 특성상에 변화는 없다는 것을 그림 12를 통해서 알 수 있었다.

그림 13은 동작 가스압력에 따른 유전층 절연파괴전압을 나타내고 있다. 그림에서 보여지는 곡선은 Paschen 곡선과 같다. 따라서, 절연파괴현상 역시 Paschen의 법칙에서 기인한 것임을 알 수 있다. 본 실험에서는 200torr과 300torr 사이에서 Paschen의 최소값을 기록하였다.

그림 14는 동작 가스의 종류에 따른 절연파괴전압을 나타내고 있다. 본 실험은 PDP 실제 동작 압력에 가까운 300 torr에서 행하였다. 최소 절연파괴전압은 He-Ne-Xe 혼합 가스를 사용했을 때 얻어졌으며, 방전개시전압 역시 He-Ne-Xe 혼합 가스를 사용했을 때 최소값을 가짐을 알 수 있었

다. PDP에서 He-Ne-Xe의 3원 가스 중 He와 Xe 가스는 색 순도와 휘도를 증가시키는 역할을 하는데 반하여 Ne이 방전개시전압을 감소시키는데 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 전계 E하에 기체 방전의 경우 전자의 평균 에너지는 아래 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.[4]

$$eV = \frac{3}{2} kT_e = \frac{e^2 E^2}{\delta m v_m^2} \quad (2)$$

PDP처럼 전자에너지가 수 eV내에 있을 때 충돌 주파수는 Ne<He<Ar<Xe[5]의 순이다. 그러므로 식 (2)에 따라서 충돌주파수가 낮은 Ne이 전자의 평균에너지를 증가시키고 방전공간 내에 여기와 전리를 활발히 일으키는데 중요한 역할을 하게 된다. 결과적으로 Ne에 의한 이러한 현상이 방전개시전압과 절연파괴전압을 낮추게 하는 원인이 되는 것으로 사료된다.

그림 15는 유전체 소성온도에 따른 유전층의 투과율을 나타내고 있다. 400nm에서 700nm사이의 가시광 영역에서 투과율을 측정해 본 결과 소성온도가 증가할수록 투과율도 역

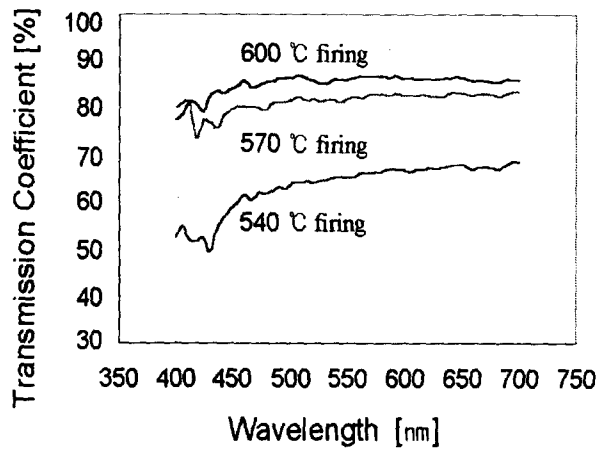


그림 15 소성온도를 변화시킬 때 파장별 투과율
 Fig. 15 Transmission coefficient versus wave length as a parameter of firing temperature

시 증가하는 것을 알 수 있었다. 하지만 570°C에서 투과율이 80% 이상을 나타냈고, 그 이상의 온도에서는 증가폭이 적었다. 따라서 유리의 변형온도와 절연내력의 관점에서 볼 때 적절한 소성온도는 570°C 정도로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 PDP 방전전극상의 유전층의 절연파괴전압과 투명도를 다양한 조건들 하에서 검토하였다. 그 결과 570°C에서 소성된 15 μ m 두께의 유전층의 경우 최소 435V의 절연파괴전압을 가지고 80% 이상의 가시광 투과율을 나타내었다. 이는 현재 사용중인 PDP에서 요구되는 적정값으로 생각된다. 한편, 동작가스 압력이 200torr에서 300torr 사이에서 유전층의 절연파괴전압이 가장 낮았으며, 유전체 상에 MgO 코팅을 한 경우는 절연파괴전압을 낮추었다.

일반적으로 방전개시전압이 낮아질수록 유전층의 절연파괴전압은 저하하였으며, 정현파 인가시 He-Ne(31.2%)-Xe(0.2%)의 혼합 가스를 사용했을 때 He 단일 가스에 비해서는 34V, He+Xe(0.2%) 가스에 비해서는 130V, Ne+Ar(0.75%) 가스에 비해서는 92V 정도 절연파괴전압이 낮았다.

본 연구는 한국디스플레이 연구조합내 PDP거점연구단의 기금 후원으로 이루어졌음을 밝히고 감사의 뜻을 표하는 바입니다.

참 고 문 헌

[1] S. Sakamoto et. al. "Technology and Materials of Color Plasma Display Panel" CMC. Co. pp84-87 1996
 [2] G. Mitra et al, "Electric stress in a circular cylindrical gaseous cavity in a solid dielectric, the axis of the cylinder being parallel to the field", Proc. IEE, Vol. 113, pp931-935, 1966

[3] V. E. Golant, "Fundamentals of Plasma Physics" John Willey & Sons, 1980
 [4] J. K. Meek et al, "Electrical Breakdown of Gases", Clarendon Press, 1953
 [5] S. C. Brown, "Basic Data of Plasma Physics", Technology Press and Wiley, 1959

저 자 소 개



박 정 후(朴正后)

1945년 4월 8일생. 1968년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1974년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980년~1983년 일본 구주대학 대학원 졸업(공학박). 현재 부산대 공대 전기공학과 교수.



이 성 현(李盛鉉)

1971년 12월 24일생. 1997년 부산대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.



김 규 섭(金圭燮)

1943년 12월 22일생. 1971년 부산대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 부산 동명대학 전기과 교수.



손 제 봉(孫濟奉)

1946년 7월 2일생. 1969년 부산대학교 전기공학과 졸업. 1979년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정 및 부산정보대학 전기·전자 계열 교수



조 정 수(曹井守)

1935년 2월 21일생. 1961년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1976년 부산대 공대 전기공학과 대학원 졸업(공학박). 1983년~1984년 미국 Oregon Univ. 교환교수. 현재 부산대 공대 전기공학과 교수.