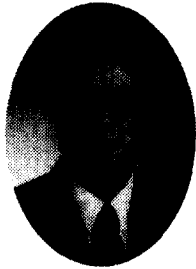
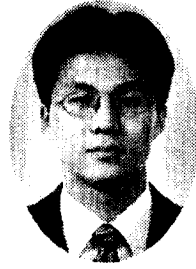


## AC-PDP 유전체 보호막의 연구 동향



**김형준**  
(서울대학교 재료공학부 교수)



**김수길**  
(서울대학교 재료공학부 박사과정)

### 1. 서론

현대는 정보화 사회라 불리우고 있는 만큼 정보 처리 시스템의 발전과 보급에 따라서 디스플레이의 중요성이 증대함과 종류의 다양화가 현저히 이루어져 왔다. 이러한 디스플레이 중 현재까지 음극선관(Cathode Ray Tube : CRT)이 주종을 이루고 있지만 큰 부피와 높은 구동 전압, 그리고 현대인의 다양한 욕구를 만족시키기에는 불리한 점이 많아, 새로운 대체품이 절실히 요구되고 있어 지난 80년대 후반부터 여러 가지 평판 표시 장치(Flat Panel Display : FPD) 개발에 큰 투자가 진행되고 있는 실정이다. 그 중에서도 PDP(Plasma Display Panel)는 향후 CRT를 대체할만한 무한한 잠재력을 지닌 디스플레이로서, 후막기술을 이용한 저가격 및 40" 이상의 대형화의 잇점으로 관심의 초점이 되고 있다.

AC형 PDP는 DC형 PDP와 방전 방식이 달라 전극 사이에 유전체가 필요한데, 이 유전체가 플라즈마에 직접 노출될 경우 방전 특성이 떨어지는 단점이 있어 유전체 보호막이 요구된다. 이 보호막이 가장 최종적으로 플라즈마에 노출되기 때문에 전체 PDP의 성능을 좌우한다 해도 과언이 아니다. 따라서, 유전체 보호막의 연구에 대해 많은 관심을 쏟고 있으며, 현재까지도 보호막의 성능 향상에 대한 많은 연구가 진행 중이다. 본 원고에서는 PDP 내에서 중요한 역할을 맡은 유전체 보호막의 역할 및 기술 개발 및 동향에 대해 기술한다.

### 2. AC-PDP 내에서 보호막의 역할

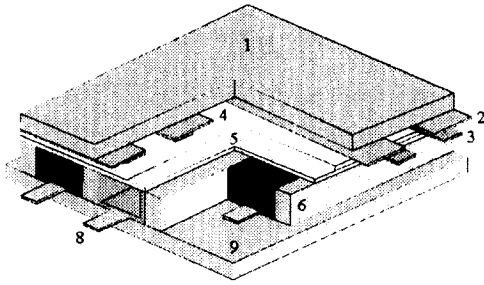
그림 1에 AC-PDP의 구조를 나타내었는데, 유전체 표면에는 방전 특성의 향상 및 수명 개선을 위해 보호막을 증착한다. 전절에서 간단히 언급했듯이 보호막이 플라즈마에 최종적으로 노출되므로 방전 특성에 상당한 영향을 미치고 있다. 보호막이 AC-PDP 내에서 맡은 역할은 아래와 같다.

#### 2.1 구조적 효과

유전체층은 주성분이  $PbO$ ,  $B_2O_3$ ,  $SiO_2$ 인 paste를 프린팅한 뒤 소성하여 제조되는데, 유전체층의 성분인  $PbO$ 가 플라즈마에 노출되면 이온의 충격에 의해 분해 반응을 일으켜 표면에 이질층을 형성하여 방전 전압을 높이는 등의 나쁜 결과를 초래한다. 따라서 원자간 결합력이 큰 보호막을 유전체층 위에 증착하여 패널의 장시간 구동시 안정성을 유지한다.

#### 2.2 전기적 효과

산화물 계열의 재료에 이온이 충돌하면, 표면에서 플라즈마 내부로 새로운 전자가 방출되는데, 이를 이차전자라 부른다. 이러한 이차전자의 방출값이 높을수록 플라즈마 내에는 보다 많은 수의 전자가 존재하여 낮은 방전 전압 하에서 플라즈마의 유지가 가능하다. 또한, 방전이 끝난 후에는 보호막 표면에 벽전하가 축적되어 수 V 정도의 벽전압을 형성하고 있다. 재



- |           |         |
|-----------|---------|
| 1. 전면유리   | 2. 금속전극 |
| 3. ITO 전극 | 4. 유전체  |
| 5. 보호막    | 6. 격벽   |
| 7. 형광체    | 8. 금속전극 |
| 9. 배면유리   |         |

그림 1 AC-PDP 구조  
Fig. 1 Structure of AC-PDP

방전시 이 전압에 의해 구동회로에서는 좀더 낮은 전압을 인가하여도 방전이 이루어지므로 전력의 감소 및 효율 향상 효과를 가져온다.

이러한 보호막의 역할을 수행할 수 있기 위한 보호막 재료로서의 요구 조건은 다음과 같다.<sup>(1)</sup>

### 2.3 장시간 구동시 안정성

패널이 구동되는 동안 구동전압의 변화는 수 V 내로 유지되어야 한다. 이를 위해서는 보호막 재료의 원자간 결합 에너지가 높아야 플라즈마에서 발생하는 이온, 전자, 광자, 그리고 준안정 원자들에 의한 스퍼터링이 억제될 수 있다. 이 원자간 결합 에너지는 형성 에너지(heat of formation)와 관련되므로 내열 산화물 재료가 높은 값을 가지므로 보호막 재료로는 주로 이들 산화물이 연구되고 있다.

### 2.4 낮은 구동 전압

일반적으로 구동 회로의 단가를 낮출 수 있는 150 V 이하의 구동 전압이 요구된다. 이차전자 방출계수가 높아지면 방전 전압이 낮아지는 것은 잘 알려져 있다.<sup>(2)</sup> 따라서 높은 이차전자 방출계수를 갖는 재료를 사용하는 것은 필수적이다. 높은 이차전자 방출계수를 갖는 재료는 대체로 작은 일함수와 낮은 전자 친화도를 갖는다.

### 2.5 빠른 방전 응답성

AC-PDP는 펄스 구동 방식이므로 빠른 방전 응답이 요구된다. 응답시간이 길거나, 응답시간의 변화폭이 발생되면, 좁은 폭을 갖는 하나의 writing 펄스로 확실한 writing 구동을 할 수 없게 된다. 그 결과, 긴 시간의 writing 펄스가 필요하거나, writing 구동이 수 차례 반복되어야 되므로 writing 속도는 느려지게 된다.

### 2.6 높은 전기절연 특성

고정세의 패널에서는 인접 셀 사이의 간섭을 고려해야 한다. 보호막 위의 표면 전하의 전파와 공간 전하 확산 등은 작아야 하며, 보호막 표면에 발생한 표면 전하에 의한 메모리 특성이 인접 셀 사이에서 서로 영향을 미쳐서는 안된다. 높은 전기 절연성을 갖는 재료일수록 전하의 확산을 억제할 수 있다.

### 2.7 증착방법

빠른 증착속도를 갖는 저가의 증착방법은 보호막 재료 증착에 필수적인 요소 중의 하나이다. 또한, PDP는 40" 이상의 대면적 패널이므로 대면적 증착이 가능한 증착법이 요구된다.

### 2.8 높은 광투과율 및 낮은 굴절율

진공자의외선에 의해 형광체에서 방출된 가시광선은 보호막 재료가 증착된 상판을 통해 우리 눈에 도달되므로 가시광 손실을 최소화 하기 위해서는 가시광 에너지 이상의 높은 광학적 에너지 금지대를 가져야 한다. 또한, 보호막과 유전체 계면 사이에서 발생할 수 있는 빛의 간섭 및 산란을 억제하고, 가시광의 굴절을 최소화 할 수 있기 위해서는 유전체층의 굴절율(1.5 ~ 1.6)과 유사한 굴절율을 가져야 한다.

## 3. AC-PDP 보호막의 개발 역사

AC-PDP 보호막에 대한 체계적인 연구는 일본과 미국에서 진행되었으며 연구논문은 1975년부터 발표되었다. 1975년 미국의 B. W. Byrum, jr.<sup>(3)</sup>는 PbO, Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 그리고 MgO 보호막을 유전체층에 증착하여 구동시간에 따른 방전전압 변화를 확인하였고, 플라즈마 식각에 대한 기초 이론을 준비하여 MgO가 우수한 특성을 보임을 확인하였다. 표 1에는 여러 산화물 재료의 방전 특성 결과를 나타내었다.

1976년 T. Urade<sup>(1)</sup>, S. Andoh<sup>(4)</sup>, 그리고 H. Uchiike<sup>(5)</sup> 등은 보호막 선정 조건을 제시하고, 그들을 기초로 하여 CeO<sub>2</sub>, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, borosilicate glass, quartz, 그리고 MgO 등을 보호막 재료로 선택한 뒤, 사용된 보호막들이 패널의 특성에 미치는 효과에 대한 연구를 통해 MgO가 보호막 재료로서 가장 우수함을 제시하였다. 표 2에는 T. Urade<sup>(1)</sup>가 연구한 여러 보호막 후보 물질의 특성 측정 결과를 나타내었다.

1979년 T. Shinoda<sup>(6)</sup>는 MgO와 알카리토 금속 산화물 CaO, SrO, BaO, 그리고, 그들의 화합물의 방전특성을 조사하였다. MgO보다는 다른 재료들의 방전전압이 낮고, 승화열도 MgO와 유사하였지만, 그림 2와 3에서 보는 바와 같이 방전전압 마진이 MgO의 1/3 수준 밖에 안되고 방전 응답성도 상당히 떨어지는 단점을 가지고 있음을 확인하였다. 이상을 종합해 보면 MgO가 앞절에서 언급한 보호막의 요구조건을 충실히 만족시켜주는 좋은 재료임을 알 수 있었다.

표 1 보호막 재료의 전압 변화  
Table 1 Voltage-change trends for selected materials<sup>(9)</sup>

Material	Operating voltage	Operated cell change	Unoperated cell change
PbO	120	Increases	Stable
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	120	Decreases	Increases
MgO	90	Weak increase	

표 2 여러 재료의 특성 비교  
Table 2 Summary of characteristics of typical materials<sup>(11)</sup>

Characteristics Materials	Life time	Operating voltage	Discharge response time	Surface charge accumulation
Lead-rich Glass	Bad	Low	Quick	No problem
CeO <sub>2</sub>	Good	High	Slow	No problem
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Good	Low	Quick	No problem
MgO	Good	Very low	Quick	No problem

#### 4. 보호막 재료 및 제조 기술

보호막 제조 방법은 크게 진공증착법과 비진공증착법으로 나눌 수 있으며, 현재까지 PDP 양산품은 진공증착법으로 보호막을 증착하고 있다. 진공증착법은 보호막의 물성이 뛰어나다는 장점을 갖고 있지만, 대면적 증착에 따른 장비의 거대화 및 고가의 원료물질을 사용하여야 하기 때문에 고가의 비용이 들어간다는 단점을 갖는다. 반면에 비진공증착법은 상압 하에서 보호막을 제조하는 방법이기 때문에 고가의 장비가 요구되지 않고 대면적 증착이 가능하다. 그러나 500℃ 이상의 증착 온도가 수반되는 단점을 가지며, 보호막의 물성이 진공증착법에 의한 보호막보다 떨어진다.

##### 4.1 E-beam evaporation

현재 PDP 생산업체에서 주로 사용하는 방법으로 다른 증착법에 비해 많은 장점을 가지고 있는 증착법이다. 우선, 이 증착법으로 제조된 보호막은 높은 결정성은 가지며 결정립의 크기도 크다. 방전특성 역시 우수해 낮은 방전전압을 나타낸다. 그러나, 증착속도는 300 A/min 정도로 낮은 편이며, 일괄공정 체제에서 대면적에 증착하기에는 약간의 어려움이 뒤따른다. 또한 원료물질의 수 % 만이 증착되는 비효율성을 갖는다.

##### 4.2 Sputtering

전자빔 증발증착법에 비해 일괄공정 체제에 적용하기 쉬운 점과 대면적 증착이 우수하다는 큰 장점을 갖는다. 증착속도

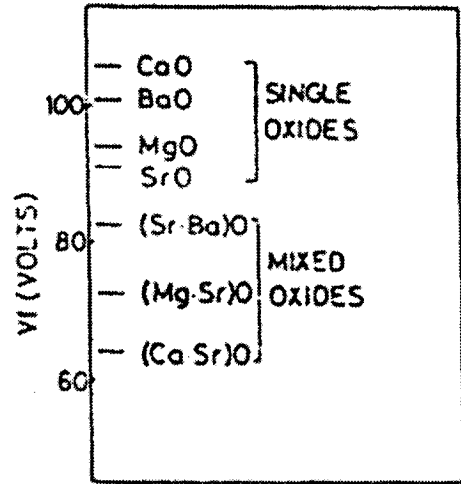


그림 2 여러 알칼리토 금속 산화물의 방전개시전압  
Fig. 2 Firing voltage for various alkaline earth oxides<sup>(9)</sup>

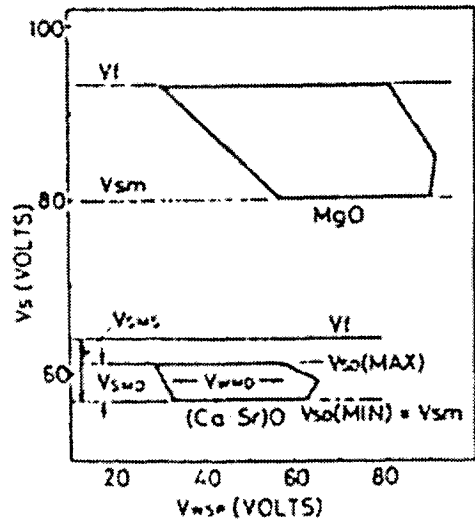


그림 3 (Ca,Sr)O와 MgO 보호막의 방전전압 및 방전전압 마진 비교  
Fig. 3 Comparison of the write windows between panels with (Ca,Sr)O or MgO protective layers<sup>(9)</sup>

는 300 A/min 정도의 값을 보이며, 보호막의 밀도 및 결정립의 구조가 우수한 결과가 보고되기도 하였다. 그러나 방전특성 면에서는 증발증착법에 의한 보호막보다는 열등한 결과를 보여주며, 원료물질 사용의 비효율성(수 %)도 있다.

##### 4.3 Hollow cathode sputtering

최근에 몇몇 연구자에 의해 진행되는 내용으로서 3000 A

/min 이상의 증착속도는 가지며 대면적 증착이 가능하다는 결과가 보고되고 있다.<sup>17)</sup> 보호막의 물성(구조적, 광학적 특성)이 매우 우수했으며, 방전전압도 증발증착법과 유사한 결과를 나타냈다. 그러나 증착특성에 관련된 연구만 진행되고 있어 방전특성비교에 대한 연구가 필요하며, 이 방법 역시 고비용 증착이라는 문제점이 있다.

#### 4.4 Screen 인쇄

보호막 재료인 산화물 분말과 바인더가 혼합된 페이스트를 기판에 인쇄한 후 건조 및 소성 공정을 통해 보호막을 제조하는 공정이다. 진공증착법과 같은 고가의 진공장비가 요구되지 않으며, 수  $\mu$ m 두께의 보호막을 한번의 인쇄로 제조할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나, 인쇄, 건조, 그리고 소성의 여러 공정을 거쳐야 하며, 600 $^{\circ}$ C 이상의 소성온도가 필요하여 기판의 변형 문제가 야기될 수 있는 단점을 갖는다. 또한 일반적으로 진공증착법으로 제조된 보호막보다 방전특성이 떨어진 다.<sup>18)</sup>

#### 4.5 Spray Pyrolysis

보호막의 금속원료물질이 용해된 용매를 수 ~ 수십  $\mu$ m 크기의 액적으로 분사하여 용매의 증발 및 원료물질의 분해를 통해 기판으로 이동시키면서 열에 의해 보호막을 제조하는 공정이다. 이 방법 역시 진공장비가 필요없는 저가의 증착법이기 때문에, 대면적화시 고비용이 요구되지 않는다. 또한 화학증착에 의해 보호막이 형성되므로 치밀한 구조의 보호막을 제작할 수 있다. 그러나 일반적으로 원료물질을 유기용매에 용해하기 때문에 보호막 내에 C 및 H 등의 불순물이 유입될 가능성이 높으며 400 $^{\circ}$ C 이상의 증착온도가 요구되어 하부의 유전층과 열팽창계수 불일치로 인한 균열이 생성될 우려가 있어 균열생성 억제에 위한 승온 및 냉각속도의 조절이 요구된다. 방전특성은 증발증착법과 비교할만한 결과를 보여주고 있다.<sup>19)</sup>

### 5. AC-PDP 보호막의 기술 개발 및 개발 방향

현재 60" 이상의 PDP가 개발되고 있는 실정이라는 하나 PDP의 큰 단점인 높은 소비전력과 패널의 고가격은 상품화의 큰 걸림돌이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 보호막 연구는 MgO의 단점을 해결할 수 있는 새로운 물질의 개발, 저가의 보호막 증착법 개발 및 보호막 특성에 따른 방전전압 변화를 연구하여 최종적으로 소비전력 감소에 집중되고 있다.

#### 5.1 새로운 물질

지난 1980년까지 연구는 보호막으로 MgO를 사용하고 방전특성을 측정하는 단순한 연구에 그쳤으나, 1990년대 이후

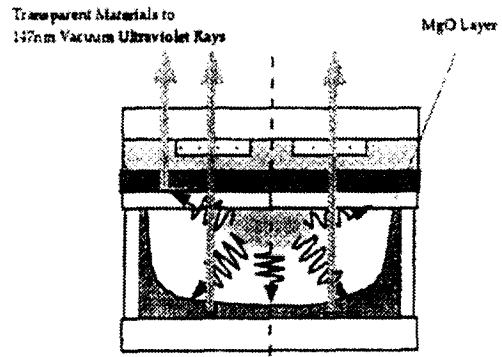


그림 4 투과 및 반사 형광체를 사용하는 AC-PDP 구조  
Fig. 4 The structure of the surface-discharge AC-PDP with transmissive and reflective phosphor type<sup>12)</sup>

의 연구는 MgO가 갖는 문제점을 해결하기 위한 새로운 물질의 개발이 주요 연구과제이다.

MgO는 증착이 용이하고, 방전특성이 우수하다는 장점을 갖고 있으나 표면에 CO<sub>2</sub> 또는 H<sub>2</sub>O가 흡착되어 불순물 오염에 의한 패널 특성의 감소라는 문제점을 안고 있다. 또한 방전전압이 여전히 높아 패널의 효율 향상에 한계가 있기 때문에 방전전압을 낮추기 위한 새로운 물질 또는 MgO의 특성 개선을 위한 도핑 연구에 관심이 집중되고 있다.

1996년 T. Sasaki<sup>10)</sup>는 MgO(400 Å)/MgF<sub>2</sub>(5000 Å) 구조의 다층 보호막을 사용하였다. 휘도(1030 cd/m<sup>2</sup>) 및 효율(1.0 lm/W)은 기존의 MgO 보호막보다는 높은 값을 나타내었지만, 플라즈마 식각에 대한 저항성이 낮아 구동 시간에 따른 열화 특성을 보여 짧은 수명의 단점을 갖는다.

1997년 I. Koiwa<sup>11)</sup>는 MgO/Ba<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>Gd<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Sr<sub>0.6</sub>Mg<sub>0.4</sub>Gd<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 다층보호막을 제작하여 기존의 MgO 재료보다 효율 향상을 보였지만, 공정이 복잡하고, 구동시간에 따라 특성의 변화가 보이는 단점을 나타냈다.

1997년 K. Yoshida<sup>12)</sup>는 유전체와 보호막 사이에 형광막을 도포한 새로운 구조를 제시하였고(그림 4), 1996년 T. Sasaki<sup>10)</sup>가 연구한 MgO와 MgF<sub>2</sub> 다층막을 사용하였을 경우 발생하는 단수명을 해결하기 위하여 MgO와 MgF<sub>2</sub>를 76:24의 비율로 동시증발증착법을 사용하여 보호막을 제작하였다. 2차전자방출계수의 경우 MgO보다 높은 수치를 보였지만 구동에 따른 감소문제가 발생하였다. 이는 패널제작 후 aging공정으로 해결할 수 있었으며, 1060 cd/m<sup>2</sup>의 높은 휘도를 얻을 수 있었다. 그러나 이차전자방출계수 측정 초기에는 MgO보다 4배 이상의 높은 값을 나타내었지만, 측정 5시간 이후에는 MgO와 유사해졌으며, 방전전압의 경우 MgO보다 50 V 더 높은 값을 나타내 효율 면에서는 불리한 것으로 판단된다(그림 5). 이는 MgF<sub>2</sub>의 F 원소가 방전가스 내에 존재하면 F의

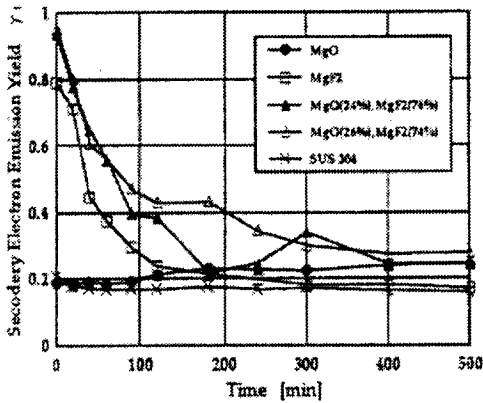


그림 5 SUS304 기판에 MgO, MgF<sub>2</sub>, 그리고 동시증발법으로 증착된 보호막의  $\gamma_1$ 의 시간 의존성

Fig. 5 Time dependency of  $\gamma_1$  for MgO, MgF<sub>2</sub>, co-evaporated materials deposited on SUS304 substrate<sup>(12)</sup>

높은 전자친화도로 인해 플라즈마 내로의 원활한 전자 공급이 안되기 때문에 방전전압이 감소되는 것으로 판단된다.

1999년과 2000년 J-W. Park<sup>(13,14)</sup>는 MgO에 CaO를 10% 정도 첨가하여 보호막 표면 형상을 개선하여 방전전압 감소 효과를 가져왔다. 하지만, 방전전압 마진이 15 V 정도의 낮은 값을 보였다. CaO 이외에 BaO, SrO 등의 첨가에 대한 연구가 현재 위 연구자에 의해 진행 중이고, 특성 향상이 예상되고 있어 많은 관심이 집중되고 있다.

1999년 S. J. Rho<sup>(15)</sup>는 MgO에 Cs를 도핑하여 2차전자방출계수의 향상을 가져왔다(그림 6). 그러나, 2차전자방출계수의 향상이 직접적인 방전 특성의 향상과 연결되지 못하기 때문에 방전 특성의 향상이 있음을 확인할 수 없었다. Cs 도핑 농도가 박막 깊이에 따라 변하는 불균일성을 보였으며, Cs 도핑에 의해 결정성이 떨어져 장시간 구동을 위한 패널수명에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

### 5.2 새로운 보호막 증착법

현재 보호막은 진공증착법으로 제작되어 패널에 응용되고 있어 패널의 저가격화를 위해서는 저가의 보호막 증착법이 필수적이다. 이러한 저가격화를 이루기 위해서는 비진공증착법이 가장 유망하다. 비진공증착법의 하나로 연구되는 것이 screen 인쇄법이다. 앞서서도 보호막 증착법의 하나로 다른 바와 같이 소성온도가 높은 것이 큰 단점의 하나로 작용하고 있지만, 새로운 페이스트 및 바인더의 개발이 이루어질 경우 빠른 증착속도, 대면적 증착 용이성 및 저가격화라는 여러 장점을 가지고 있어 보호막 증착에 응용시 상당한 경쟁력을 가질 것으로 예상된다.

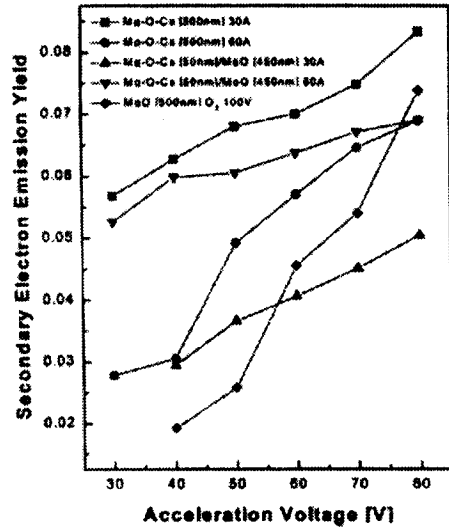
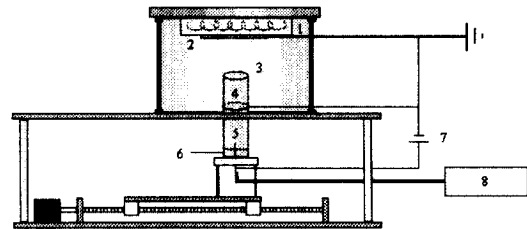


그림 6 상온에서 증착된 MgO와 Mg-O-Cs 보호막의 Ne 이온을 사용한 이차전자방출계수

Fig. 6 The Ne ion-induced secondary electron emission yield in MgO and Mg-O-Cs thin films at RT<sup>(15)</sup>



1. 기판히터
2. 기판
3. 가이드
4. 추출접지전극
5. 노즐
6. 가스 공급구
7. D.C 전력기
8. 주사기 및 펌프

그림 7 MgO 보호막 증착용 정전기 분무 열분해 장치 모식도

Fig. 7 Schematic diagram of electrostatic spray pyrolysis for deposition of MgO protective layer<sup>(16)</sup>

또한 새로운 증착법의 하나로 정전기 분무 열분해 법<sup>(16)</sup>이 연구되고 있는데, 기존의 분무 열분해법이 갖는 단점인 낮은 증착속도 및 액적 크기의 불균일성에 의한 열악한 표면 구조를 위 방법을 통해 개선할 수 있다. 그림 7에 정전기 분무 열분해 장치의 모식도를 나타내었다. 기판온도도 기존의 방법보다 낮은 350°C에서 보호막 증착이 가능하며 방전전압 특성도 기존의 진공증착법과 비교하여 떨어지는 않는 응용 가능성을 갖고 있으며, 현재 수십 인치 이상의 대면적화에 대한 연구를 진행 중에 있다.

### 5.3 보호막 특성 평가 기술

전절에서 언급한 바와 같이 보호막에서 가장 중요한 역할은 방전전압 감소와 유전체 식각 방지이다. 우선 방전전압 감소는 주로 이차전자방출계수와 관련되어 나타나는 현상이기 때문에 이차전자방출계수의 향상에 큰 관심을 갖고 있다. 그림 8에  $Ne^+$  이온에 의한 MgO의 에너지 밴드 구조 및 이차전자방출의 원리를 나타내었다.<sup>(17)</sup> MgO 표면에  $Ne^+$  이온이 충돌하면  $Ne^+$  이온으로 MgO에서 전자가 이동하고, 그 에너지 차이를 보상하기 위해 또 다른 하나의 전자가 표면 밖으로 방출된다.

A. Shiokawa<sup>(18)</sup>은 가스압력에 따른 이차전자방출계수 변화와 이차전자방출계수-방전전압 관계를 측정하여 두 가지 실험 결과로부터 이차전자방출계수가 높을수록 방전전압이 감소함을 확인하였다(그림 9,10).

J. Lee<sup>(19)</sup>는  $He^+$ ,  $Ne$ ,  $Ar^+$ ,  $Kr^+$ , 그리고  $Xe^+$  이온을 사용하여 이차전자방출계수를 측정하였는데,  $He^+$ 의 경우에는 전위 방출(Potential emission) 기구에 의해, 그리고 나머지 이온의 경우에는 비록 작은 양의 이차전자가 방출되기는 하지만 역학 방출(Kinetic emission) 기구에 의해 방출된다고 주장하였다(그림11). 또한, MgO 보호막의 이차전자방출계수 측정 초기시 전류값의 요동현상이 있음을 밝혔고, 일정량의 이온 주입이 있거나, 열처리에 의해 사라짐을 확인하였다(그림 12). 이는 보호막 표면, 또는 내부에 존재하는 불순물에 의한 것으로 판단된다.

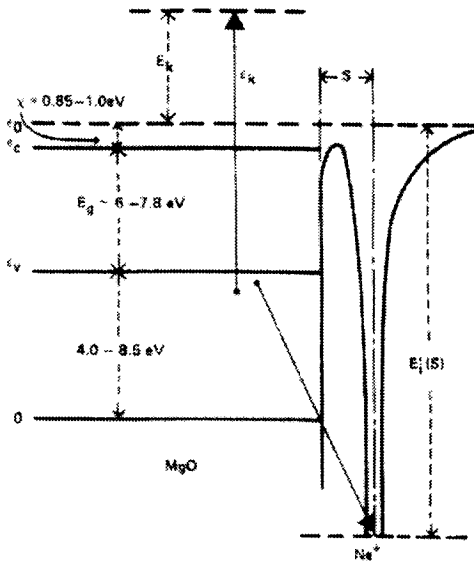


그림 8 MgO 표면에 발생하는  $Ne^+$  이온의 Auger 기구 도식도. 전자이동은 실선화살표로 표시된다.  
Fig. 8 Schematic diagram illustrating Auger neutralization of  $Ne^+$  ion at MgO surface. The electronic transitions are indicated by the full arrows<sup>(17)</sup>

E-H. Choi<sup>(20,21)</sup>는 서로 다른 결정면을 갖는 MgO 다결정 박막과 단결정의 이차전자방출계수를 측정하여 결정면에 따른 이차전자방출계수 의존성( $\gamma_{(111)}$ ,  $\gamma_{(200)}$ ,  $\gamma_{(220)}$ )을 확인하였다. 이는 결정면의 일함수가 낮을수록 이차전자방출계수가 높은 값을 나타내기 때문이라고 설명하였다.

반면에 K. Yoshida<sup>(22)</sup>는 (220), (200), (111) 결정면의 순서로 이차전자방출계수가 감소한다는 연구결과를 발표하였다. 그 원인으로서는 원자밀도( $\rho_{(111)}$ ,  $\rho_{(200)}$ ,  $\rho_{(220)}$ )가 높은 면일수록 일함수( $\psi_{(111)}$ ,  $\psi_{(200)}$ ,  $\psi_{(220)}$ )가 커지기 때문에 표면에서 방출되는 이차전자의 양이 감소한다는 것이다. 또한, (220)면의 높은 이차전자방출계수로 인해 방전전압 및 휘도의 향상이 있음을 보여준다(그림 13-15). 앞의 두 연구자의 연구가 일부 다른 결과를 보여주고 있어 이에 대한 논란의 여지는 아직까지 남아있다.

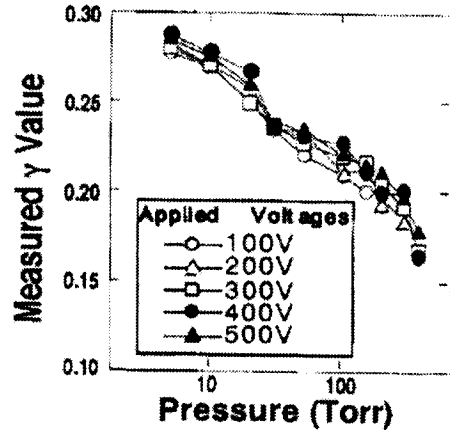


그림 9  $\gamma$ 와 가스압력 관계.  
Fig. 9 Relation between  $\gamma$  coefficient and gas pressure<sup>(18)</sup>

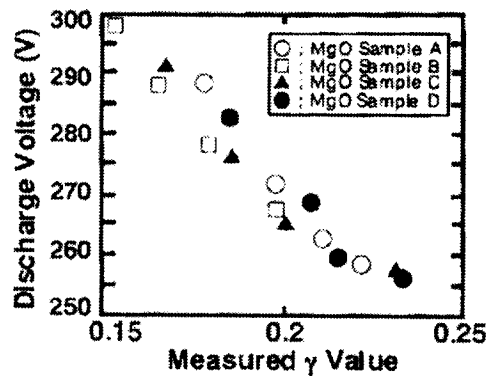


그림 10  $\gamma$ 와 방전전압 관계.  
Fig. 10 Correlation between the measured  $\gamma$  coefficient and the ignition voltage<sup>(18)</sup>

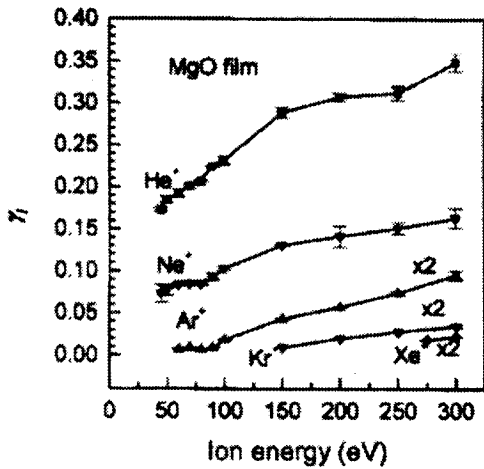


그림 11 45~300 eV 에너지의 여러 가스 이온에 대한 다결정 MgO 보호막의 이차전자방출계수  $\gamma_1$

Fig. 11 Secondary electron emission coefficient  $\gamma_1$  of a polycrystalline MgO thin film for various noble gas ions at energies between 45 and 300 eV<sup>(19)</sup>

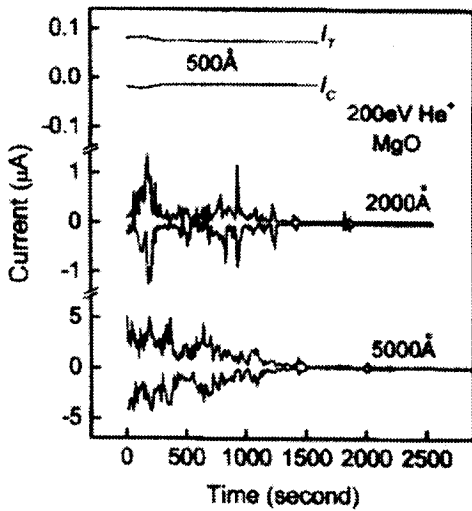


그림 12 MgO 보호막에서 측정된 타겟( $I_t$ )과 컬렉터( $I_c$ ) 전류의 초기 요동. 두꺼운 박막의 경우 요동의 큰 감도와 긴 유지시간이 나타난다.

Fig. 12 Initial fluctuation in the target ( $I_t$ ) and collector ( $I_c$ ) currents measured with as-deposited MgO thin films. A larger amplitude and a longer duration of the fluctuation can be noted for thicker film<sup>(19)</sup>

C. Son<sup>(23)</sup>와 C-H. Park<sup>(24)</sup>는 고주파 마그네트론 스퍼터링 방법으로 증착한 MgO 보호막의 O/Mg 화학양론비에 따른 방전 전압의 비교에 대한 각각의 연구 결과를 발표하였는데, 플라즈마 가스인 Ar 내에 10~30% 내외의 산소 가스를 첨가하

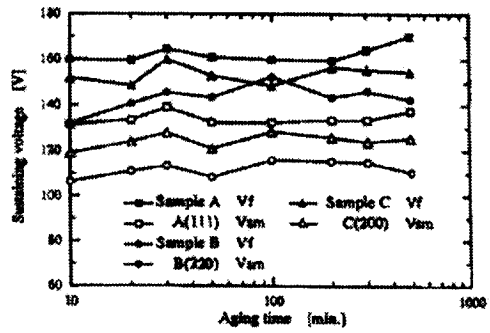


그림 13 시험 패널의 열화특성.

Fig. 13 Aging characteristics of testing panels in which the MgO layer of samples A, B, and C<sup>(22)</sup>

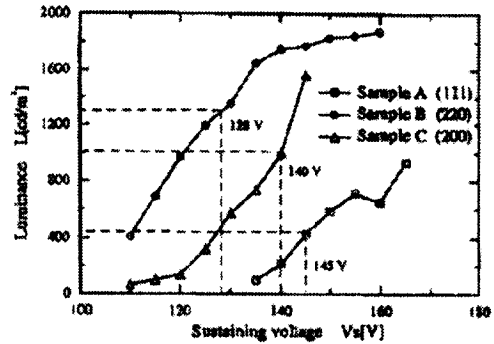


그림 14 시험 패널의 방전유지전압, 휘도와 다른 결정성을 갖는 MgO 보호막의 관계.

Fig. 14 Relationships between sustaining voltage and luminescence of testing panels with the MgO layer of samples A, B, and C<sup>(22)</sup>

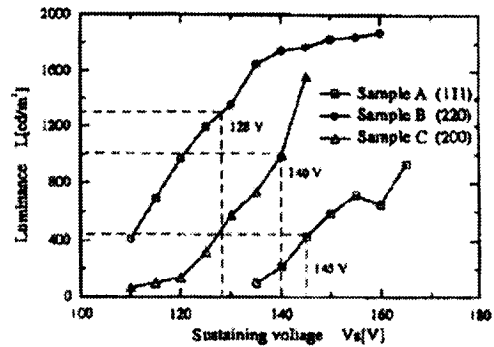


그림 15 컬렉터 전압과  $\gamma_1$ 와의 관계

Fig. 15 Relationships between collector voltage and  $\gamma_1$  of samples A, B, and C<sup>(22)</sup>

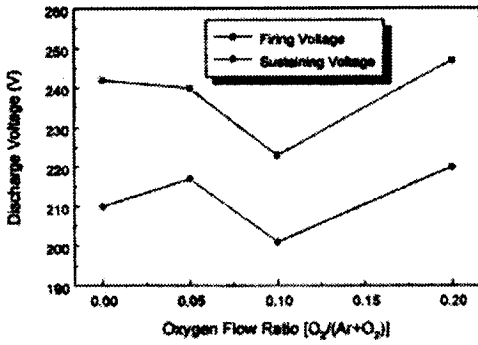


그림 16  $[O_2/(Ar+O_2)]$  가스 유량비에 따른 MgO 보호막의 방전개시 및 방전유지전압.

Fig. 16 Firing and sustaining voltages of the MgO films as a function of  $[O_2/(Ar+O_2)]$  gas flow ratios<sup>(23)</sup>

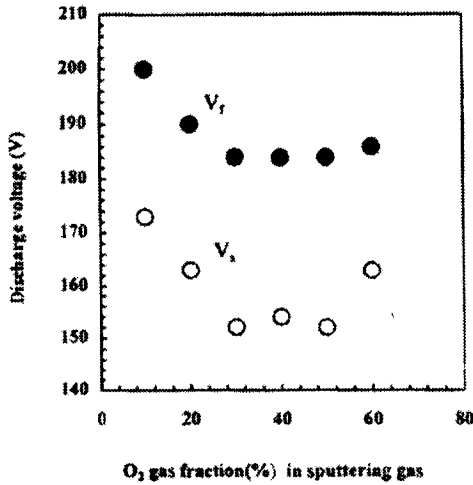


그림 17 Ar+O<sub>2</sub> 가스에서 O<sub>2</sub> 가스 양에 따른 시편의 방전전압특성

Fig. 17 Discharge voltage characteristics of the samples prepared as a function of O<sub>2</sub> gas content in the Ar+O<sub>2</sub><sup>(24)</sup>

여 MgO를 증착할 경우 가장 낮은 방전전압을 나타내었다(그림 16,17). 이러한 원인으로서는 MgO 보호막이 치밀하게 증착되고, 표면의 거칠기가 감소하여 높은 이차전자방출계수를 갖기 때문이라고 설명하였다.

S. Hidaka<sup>(25)</sup>는 Ar, 또는 Ne+Xe 가스를 사용하여 MgO 단결정과 박막의 식각률을 측정하였다. 결정면에 따른 식각률 변화를 보여주었지만, 그 결과는 결정면의 식각률 차이에서 기인된 것이 아니라 굴절율의 차이, 즉 밀도의 차이에 의한 것으로 실험 결과 나타났다. 다시 말하면, 보호막의 식각률은 결

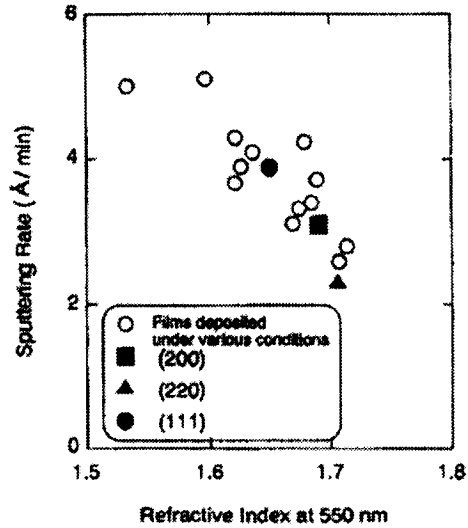


그림 18 굴절율과 MgO 보호막의 식각률 관계.

Fig. 18 Relation between the refractive index and sputtering rate of MgO thin film<sup>(26)</sup>

정면보다는 보호막의 밀도와 밀접한 관련이 있는 것으로 결론 지을 수 있었다 그림 18에 MgO 보호막의 굴절율에 따른 식각률 변화를 나타내었다.

#### 5.4 불순물 및 표면 오염 문제

현재 AC-PDP 보호막으로 사용되고 있는 재료인 MgO의 가장 큰 문제점은 대기 중의 H<sub>2</sub>O와 CO<sub>2</sub>가 MgO 표면에서 물리적, 화학적 흡착을 하여 표면 변형을 일으키고, 보호막 표면에서의 이차전자 방출을 저해하는 요소로 작용하며, PDP 구동 중 방전가스 내로 방출되어 가스압력을 높여, 결과적으로 방전특성의 악화를 가져오는 요소로 작용한다. 이미 AC-PDP 개발 초기인 1978년 W. E. Ahearn<sup>(26)</sup>는 방전가스 내에 존재하는 여러 가지 불순물들이 방전 특성에 미치는 영향에 대해 연구하여 안정적 구동을 저해하는 불순물의 심각성을 알렸다. 패널 내에 존재할 수 있는 불순물 및 그 불순물들이 방전 특성에 미치는 영향을 표 3에 나타내었다.

1998년 S. Tominetti<sup>(27)</sup>는 패널 내부와 동일한 조건에 시험 패널을 장착하고 패널에서 발생하는 불순물들의 종류 및 각각의 양을 측정된 결과, 가장 많이 발생되는 불순물 가스는 CO, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> 등이었다(그림 19). 그리고 이렇게 발생하는 가스량으로부터 패널을 30000 시간을 구동한 뒤 발생하는 불순물 가스의 총량을 환산하면 약 52 Torr의 패널 압력 상승 효과를 가져왔다. 이 경우 가스압력이 변하게 되면 방전 전압이 변해 불안정한 패널 구동 효과가 있기 때문에 패널 각 셀의 오동작을 일으키는 악영향을 일으키게 된다.



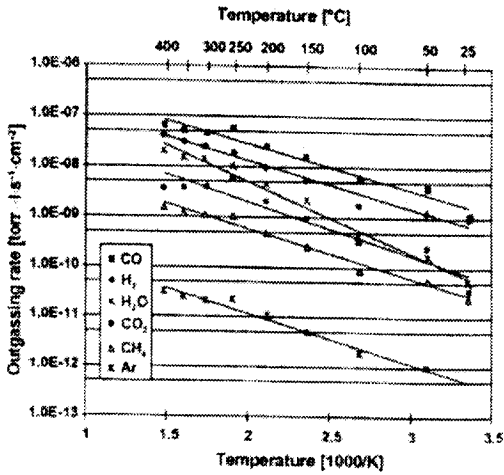


그림 19 1.2 μm 두께의 MgO 보호막에서 발생하는 다양한 가스 종들의 방출량.  
Fig. 19 Experimental outgassing rates for various gas species from a 1.2 μm thick MgO layer<sup>(27)</sup>

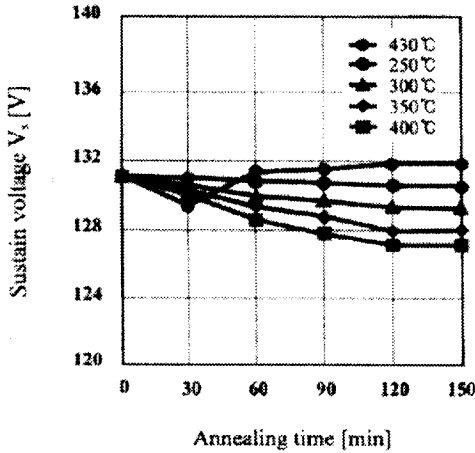


그림 20 10<sup>-6</sup> Torr의 진공에서 열처리 시간과 온도에 따른 방전 유지전압 특성.  
Fig. 20 Sustaining voltage characteristics as parameters of annealing time and temperature in a clean vacuum (10<sup>-6</sup> Torr)<sup>(28)</sup>

1999년 C-H. Park<sup>(28)</sup>는 보호막의 열처리 공정이 방전특성에 미치는 영향을 연구하였는데, 400°C, 10<sup>-7</sup> Torr 이하의 고진공 하에서 2 시간 열처리할 경우 방전전압이 10 V까지 낮아지는 결과를 보고하였다(그림 20, 21). 이는 MgO 보호막 표면에 흡착된 불순물들이 열처리에 의해 제거되고, 보호막 표면이 개선되어 특성이 향상된 것으로 설명할 수 있다.

표 3 구동전압에서 여러 불순물이 열화에 미치는 영향.  
Table 3 Effects of various contaminants on aging trends in operating voltages<sup>(26)</sup>

Contaminant (10-1000 ppm)	Change in operated cells		Change in adjacent unoperated cells	
	V <sub>s max</sub>	V <sub>s min</sub>	V <sub>f max</sub>	V <sub>f min</sub>
N <sub>2</sub> > 20 ppm	increasing	increasing	stable	stable
< 20 ppm	stable	increasing	stable	stable
H <sub>2</sub> O > 25 ppm	stable	stable	increasing	increasing
< 25 ppm	stable	stable	stable	increasing
O <sub>2</sub> > 20 ppm	stable	stable	increasing	increasing
CO <sub>2</sub> < 20 ppm	increasing	(no margin)	stable	no margin)

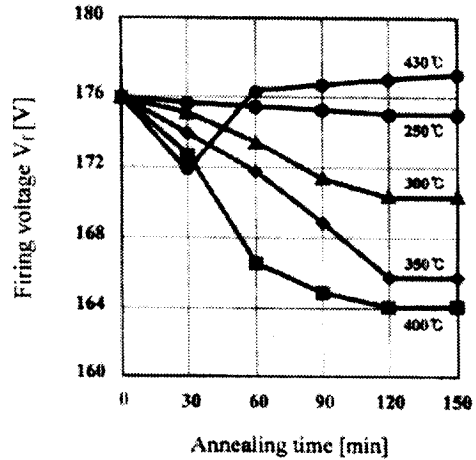


그림 21 10<sup>-6</sup> Torr의 진공에서 열처리 시간과 온도에 따른 방전 개시전압 특성.  
Fig. 21 Firing voltage characteristics as parameters of annealing time and temperature in a clean vacuum (10<sup>-6</sup> Torr)<sup>(28)</sup>

## 6. 결론

AC-PDP는 대형평판표시소자로서 벽걸이 TV로 일반인들에게 보급될 시점에 있으나 보다 넓은 시장을 형성하기 위해서는 소비전력을 낮추고, 발광효율을 크게 향상시켜야 하며, 보다 낮은 가격의 제품을 생산할 수 있어야 한다. 이를 단계적으로 분석하면, 플라즈마와 직접 접촉하는 보호막의 특성 향상이 가장 시급한 문제점이며, 이러한 문제를 해결하기 위해서 가장 중요한 것은 보호막 표면에 발생하는 현상에 대한 명확한 이해가 필요한데, 이차전차방출에 영향을 미치는 요인들에 대한 보다 체계적인 연구가 필요하다. 또한, 현재 보호막 재료로 사용되는 MgO의 문제점을 극복하기 위해 새로운 보호막 재료에 대한 연구가 여러 연구자들에 의해 진행중인데,

새로운 재료를 사용할 경우 그 재료가 갖는 장단점에 대한 심층적인 연구가 요구된다. 마지막으로 저가 증착법 개발의 경우에는 현재 제품 생산에 사용되는 증착법보다 우위에 있는 특성의 보호막 증착이 가능한 방법을 개발하는 것이 우선 과제이다. 이러한 연구들이 성과를 거두면 AC-PDP를 각 가정에서 손쉽게 볼 수 있는 날은 머지 않을 것이다.

## 참고 문헌

- [1] T. Urade, T. Iemori, M. Osawa, N. Nakayama, and I. Morita, IEEE Trans. Electron Devices, Vol.ED-23, No.3, pp. 313~318 (1976).
- [2] J. M. Meek and J. D Craggs, "Electrical Break-down of Gases", Oxford, England: Clarendon Press, 1953, pp. 80~83.
- [3] B. W. Byrum, jr., IEEE Trans. Electron Devices, Vol.ED-22, No.9, pp. 685~691 (1975).
- [4] S. Andoh, K.Murase, S.Umeda, and N. Nakayama, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-23, No.3, pp. 319~324 (1976).
- [5] H. Uchiike, K. Miura, N. Nakayama, Y. Shinoda, and Y. Fukushima, IEEE Trans. Electron Devices, Vol.ED-23, No.3, pp. 1211~1217 (1976).
- [6] T. Shinoda, H. Uchiike, and S. Andoh, IEEE Trans. Electron Devices, Vol.ED-26, No.8, pp. 1163~1167 (1979).
- [7] C. Daube, H. Frankenberger, J. Stollenwerk, IDW 97, pp. 555~558 (1997).
- [8] A. Manabe, H. Uchiike, K. Machida, K. Baba, M. Tokura, and K. Amano, SID 93, pp. 592~595, (1993).
- [9] A. R. Balkenende and R. R. M. Tijburg, Asia Display 98, pp. 389~392, (1998).
- [10] T. Sasaki, Y. Harano, Y. Kawai, M. Kamlya, H. Uchiike, and H. Lin, SID 96 digest, pp. 283~286, (1996).
- [11] I. Koiwa, T. Kanehara, and J. Mita, IEICE Trans. Electron., Vol.E79-C, No.11, pp. 1608~1617, (1996).
- [12] K. Yoshida, H. Uchiike, S. Zhang, M. Sawa, H. Hashimoto, and K. Watanabe, IDW 97, pp. 559~562, (1997).
- [13] J. Cho, R. Kim, K-W. Lee, C-Y. Son, G-Y. Yeom, H-J. Kim, J-Y. Kim, and J-W. Park, J. Mat. Sci., Vol 34, No. 20, pp. 5055~5059, (1999).
- [14] J. Cho, R. Kim, K-W. Lee, G-Y. Yeom, J-Y. Kim, and J-W. Park, Thin Solid Films, Vol. 350, pp. 173~177, (2000).
- [15] S. J. Rho, S. M. Jeong, H. K. Baik, and K. M. Song, Thin Solid Films, Vol.355-356, pp. 55~59, (1999).
- [16] S. G. Kim and H. J. Kim, Thin Solid Films, submitted, (2000).
- [17] M. O. Aboelfotoh and J. A. Lorenzen, J. Appl. Phys., Vol.48, No.11, pp. 4754~4759, (1977).
- [18] A. Shiokawa, Y. Takada, R. Murai, and H. Tanaka, IDW 98, pp. 519~522, (1998).
- [19] K. S. Moon, J. Lee, and K-W. Whang, J. Appl. Phys., Vol.86, No.7, pp. 4049~4051, (1999).
- [20] E-H. Choi, H-J. Oh, Y-G. Kim, J-J. Ko, J-Y. Lim, J-G. Kim, G. Cho, and S-O. Kang. Jpn. J. Appl. Phys., Vol.37 Part 1, No.12B, pp. 7015~7018, (1998).
- [21] E-H. Choi, J-Y. Lim, Y-G. Kim, J-J. Ko, D-I. Kim, C-W. Lee, and G-S. Cho, J. Appl. Phys., Vol.86, No.11, pp. 6525~6527, (1999).
- [22] K. Yoshida, H. Uchiike, and M. Sawa, IDW 98, pp. 515~518, (1998).
- [23] C. Son, J. Cho, and J-W. Park, J. Vac. Sci. Technol. A, Vol.17, No.5, pp. 2619~2622, (1999).
- [24] C-H. Park, W-G. Lee, D-H. Kim, H-J. Ha, and J-Y. Ryu, Surf. and Coat. Technol., Vol. 110, pp. 128~138, (1999).
- [25] S. Hidaka, M. Ishimoto, N. Iwase, K. Betsui, and H. Inoue, IEICE Trans. Electron., Vol.E82-C, No.10, pp. 1804~1807, (1999).
- [26] W. E. Ahearn and O. Sahni, IBM J. Res. Develop., Vol.22, No.6, pp. 622~625, (1978).
- [27] S. Tominetti and A.Renzo, Asia display 98, pp. 639~642, (1998).
- [28] C-H. Park, Y-K. Kim, B-E. Park, W-G. Lee, and J-S. Cho, Mat. Sci. and Eng. B, Vol.60, pp.149-155, (1999).

**성명 : 김 형 준**

◆ 학 령

1971. 3~1976. 2 서울대학교 재료공학과 학사  
1976. 3~1978. 2 한국과학원 재료공학과 석사  
1981. 8~1985.12 미국 North Carolina State University  
박사

◆ 경 령

1978. 3~1981. 8 국방과학연구소 연구원  
1981. 9~1985.12 미국 North carolian State University  
연구조교 및 연구원  
1986. 3~1990. 3 서울대학교 재료공학부 조교수  
1990. 4~1995. 9 서울대학교 재료공학부 부교수  
1995.10~현재 서울대학교 재료공학부 교수  
1997.12~1999. 2 서울대학교 반도체공동연구소 소장  
1999. 3~현재 서울대학교 공과대학 부학장

✽ E-mail: hjkim@plaza.snu.ac.kr

**성명 : 김 수 길**

◆ 학 령

1991. 3~1995. 2 경기대학교 재료공학과 학사  
1995. 2~1997. 2 서울대학교 재료공학부 석사  
1997. 3~현재 서울대학교 재료공학부 박사과정

✽ E-mail: soogil@plaza.sun.ac.kr