

기술 특 집

MgO 박막의 표면전류 특성과
패널의 방전특성과의 상관관계

황기웅, 하창훈 (서울대학교 전기컴퓨터공학부)

I. 서 론

PDP (Plasma Display Panel)는 1990년대 이후 급격한 기술적 발전을 바탕으로 현재는 대형 디스플레이 분야에서 본격적으로 시장을 형성하고 있다. 그러나 최근 LCD의 대형화로 인하여 40인치에서 50인치대의 화면크기 영역에서 PDP와 LCD 진영간의 대형 디스플레이 경쟁이 치열한 상황이며, PDP 소자 특성상의 단점들을 보완하고 성능을 향상시키기 위한 연구들이 진행되고 있다.

PDP의 주된 문제점은 고정세화 및 저소비 전력화이며 미소방전의 물성 및 에너지 흐름의 분석을 통한 효율의 향상에 관한 연구와 구동 펄스 개선 연구가 지속적으로 진행되어 오고 있다. 이들 중 현재 PDP에서 이슈화 되고 있는 부분으로서 고정세화 고효율화이며 이를 동시에 달성함과 동시에 안정적인 구동이 뒷받침 될 수 있는 재료에 대한 개발이 요구되고 있는 상황이다. 이는 국내 PDP 모듈 제작의 대부분을 담당하고 있는 삼성SDI, LG전자에 의해 2004년 하반기부터 활발히 진행되어 오고 있는 MgO에 대한 첨가물에 대한 연구^[1]와 더불어 2005년 IDW (International Display Workshop)에서 Pioneer사가 CEL (Crystal Emissive Layer)^[2]를 발표함으로써 MgO 박막에 대한 개선에 관한 요구는 더욱 거세지고 있는 실정이다. 이러한 요구에 부합하기 위해 산·학·연에서는 다양한 방법을 통해 MgO 박막의 개선이나 MgO 박막을 대체할 수 있는 물질을 연구 중이다.

본 고에서는 교류형 PDP에서의 방전특성과 MgO 박막간의 상관관계를 규명하기 위해 연구된 평가법에 대해 소개하고자 하며, 이와 더불어 본 연구팀에 의해 소개된 바 있는 광자에 의한 MgO 박막의 전기전도도 평가법에 대해 간략히 기술하고자 한다^[3-4].

II. AC PDP에서 MgO 박막에 대한 특성 평가

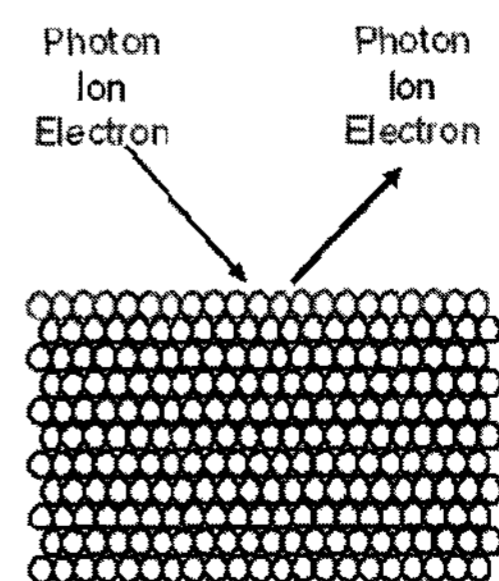
교류형 PDP에서 MgO 박막은 플라즈마 방전에 직접적으

로 노출되어 이온 충돌로부터 상판의 투명유전체를 보호하는 역할과 더불어, 높은 2차전자 방출 계수(γ_i)를 가지는 물질로서 방전전압과 효율 및 구동특성을 결정짓는 큰 축을 담당하고 있다. 이러한 MgO 박막에 대한 평가를 위해 지금까지 다양한 방법들이 사용되었으며 또한 방전특성과 직접적으로 연관 지을 수 있는 평가법에 대한 연구개발이 여러 그룹에 의해 진행되고 있다.

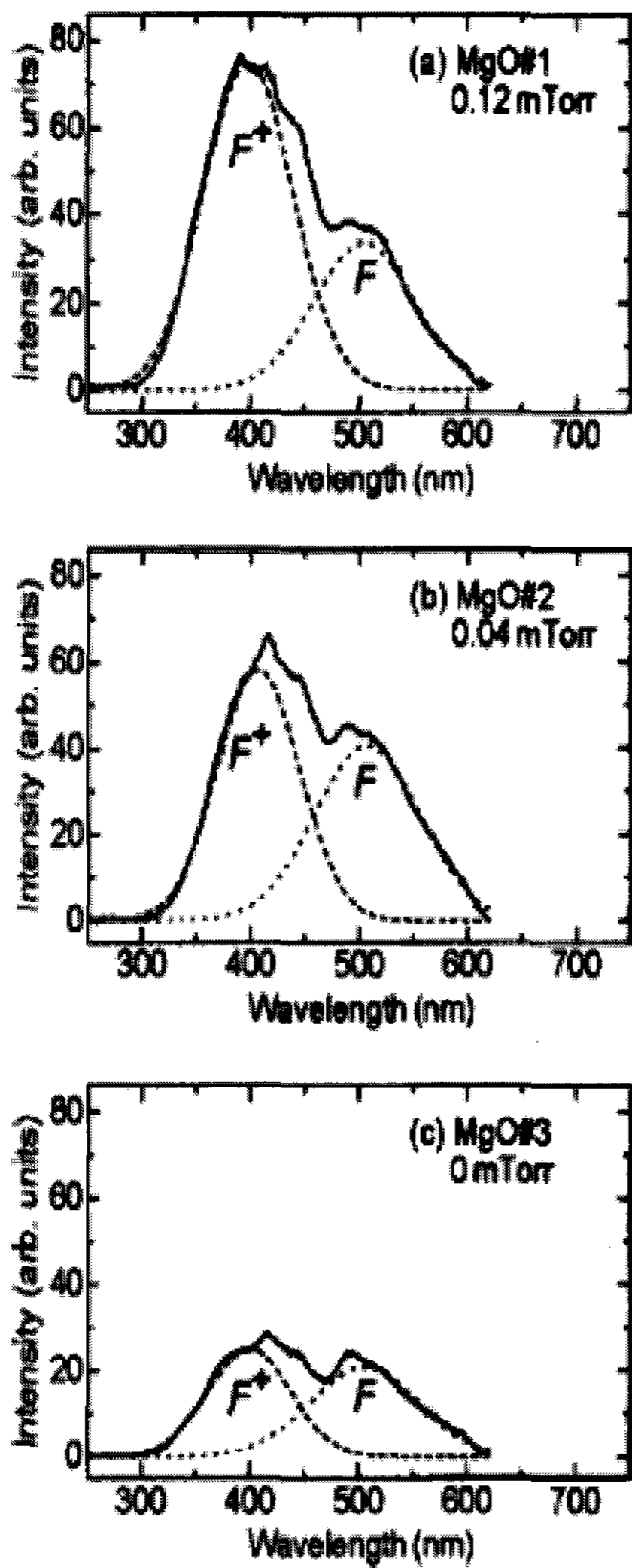
MgO 박막에 대한 특성을 평가하기 위한 방법으로는 [표 1]에서와 같이 표면 분석, 결정성, 오염분석 및 전기적 특성 분석이 활용될 수 있다. 이러한 분석방법은 기존재료에 대해 범용적으로 사용되고 있는 분석 방법이며, 이들 중 밑줄로 표시된 부분은 교류형 PDP에서 MgO 박막을 연구하기 위해 일반적으로 사용되고 있는 분석 방법이다. 이러한 분석방법은 [그림 1]에서와 같이 시료의 표면에 광자나 이온 또는 전자를 특정한 에너지나 에너지 영역내에 선택적으로 주사

[표 1] 각 항목별 분석 재료의 특성 분석법

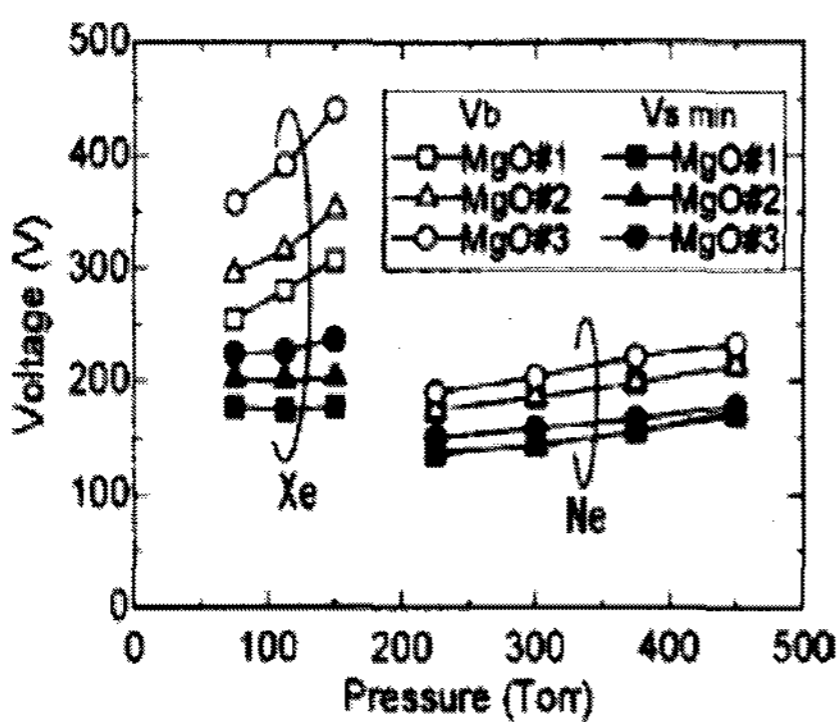
Topology	결정성	화학 분석	전기적 특성
<ul style="list-style-type: none"> • AFM • AES • SEM • TEM 	<ul style="list-style-type: none"> • XRD • CL • PL • ESR • RHEED 	<ul style="list-style-type: none"> • XPS • SIMS • TPD-MS • OES • QMS 	<ul style="list-style-type: none"> • 표면 저항 • SEEC (γ)



[그림 1] 시료분석에 대한 개념도



[그림 2] MgO 증착 중 산소 분압에 따른 CL spectrum^[5]



[그림 3] 산소 분압에 따라 증착된 MgO 박막에 대한 방전 전압 특성^[5]

하고, 시료의 표면에 입사된 다양한 형태의 에너지로 인해 시료에서 여기 되어 천이하는 광자나, 시료의 표면과 충돌 후 산란되어지거나 스퍼터링(sputtering) 되어진 이온이나 전자의 질량, 에너지 상태를 분석하여 시료의 조성과 원소의 분포, 물리 화학적 결합상태나 구성에 관한 정보를 획득할

수 있다.

그러나, 이러한 방법들은 MgO 박막에 관한 분석결과와 PDP에 있어서 방전 특성과의 상관관계는 추론만 되고 있는 실정이며 명확한 이론이 정립되어 있다고 하기는 어려운 실정이다. 그나마 이들 중 CL(cathode luminescence)과 PL(photoluminescence)법이 여러 연구그룹들에 의해 사용되고 있다.

CL법은 가속된 전자가 MgO 표면에 충돌함으로써 방출되는 빛의 에너지를 검출함으로써 재료의 광학적 특성과 결합 등을 측정하는 방법이다. [그림 2]에서와 같이 MgO 박막에서는 CL에 의해 주로 375nm와 525nm에서 발광 스펙트럼이 검출된다^[6]. 이는 MgO가 가지는 NaCl 구조에서 산소의 결핍으로 발생된 자리에 포획된 전자가 입사된 에너지에 의해 여기와 천이로 인해 CL이 방출되어 MgO 박막의 결함에 관한 정보를 나타내게 된다. [그림 2]는 MgO 박막의 증착 중 산소의 분압을 달리하여 제작한 시료로 측정된 결과이며 이렇게 측정된 CL결과는 [그림 3]에서 보여지는 것과 같이 패널의 실험결과와 밀접한 상관성을 제시하고 있다.

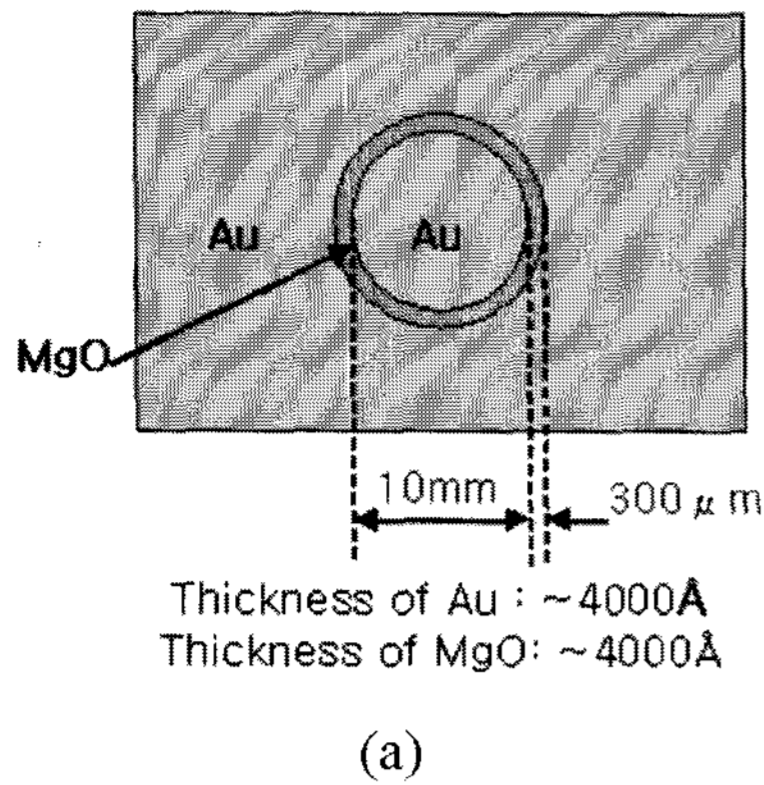
III. MgO 박막의 표면 전도도와 방전특성

앞서 언급한 바와 같이 MgO 박막은 플라즈마 방전에 직접적으로 노출되어 있다. 방전 공간에 노출된 MgO 박막은 이온 충돌이나 진공자외선(VUV: Vacuum Ultra Violet)에 영향을 받으며 교류형 PDP에서 중요한 개념인 벽전하가 쌓이는 기관역할을 담당한다. 이러한 복합적인 환경에서 MgO 박막은 2차 전자방출이나 일반적인 PDP의 구동방법인 ADS(Address Display Separate)^[6] 구동에서 각 구간마다 쌓여지는 벽전하의 크기나 모양에 직접적인 영향을 미친다고 할 수 있다. 또한 PDP에서는 연속적인 방전으로 인해 방출되는 열로 인해 MgO 박막의 입장에서 이온충돌, 진공 자외선 조사와 더불어 온도에 영향을 받을 수 밖에 없는 조건에 놓여져 있다.

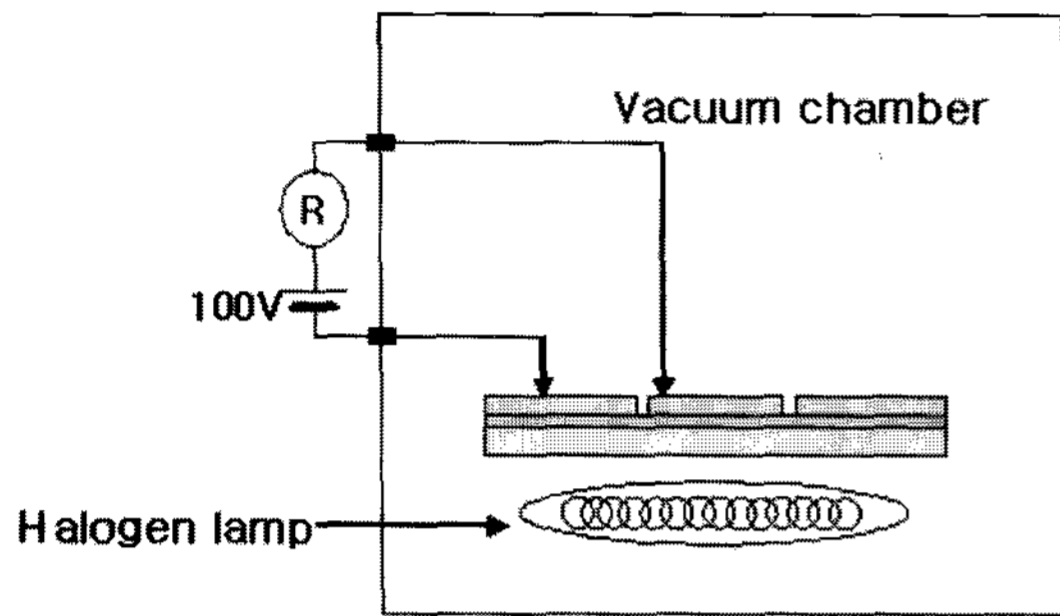
본 연구팀에서는 MgO 박막과 교류형 PDP의 방전특성과의 실질적 상관관계를 연구하기 위하여, MgO 표면의 전기 전도도를 온도 영향 아래에서 고찰하였으며, 직접 실험용 PDP 패널을 제작하여 방전 실험 결과와 MgO 박막의 전기 전도도 결과를 비교, 분석하였다. 또한 MgO 박막의 기본 물성을 싱크로트론(Synchrotron) 소스를 이용하여 약 5.5 eV에서 25eV의 광자 입사 에너지를 주면서 전기 전도도를 관찰함으로써 교류형 PDP의 방전특성과 상관관계를 이해하고자 하였다.

1. 고온에서 MgO 박막의 표면저항과 어드레스 방전 특성

MgO 박막의 전기적 특성을 관찰하기 위해 본 연구팀에서는 유리 기관위에 MgO를 전자 빔 증착기로 약 4000Å

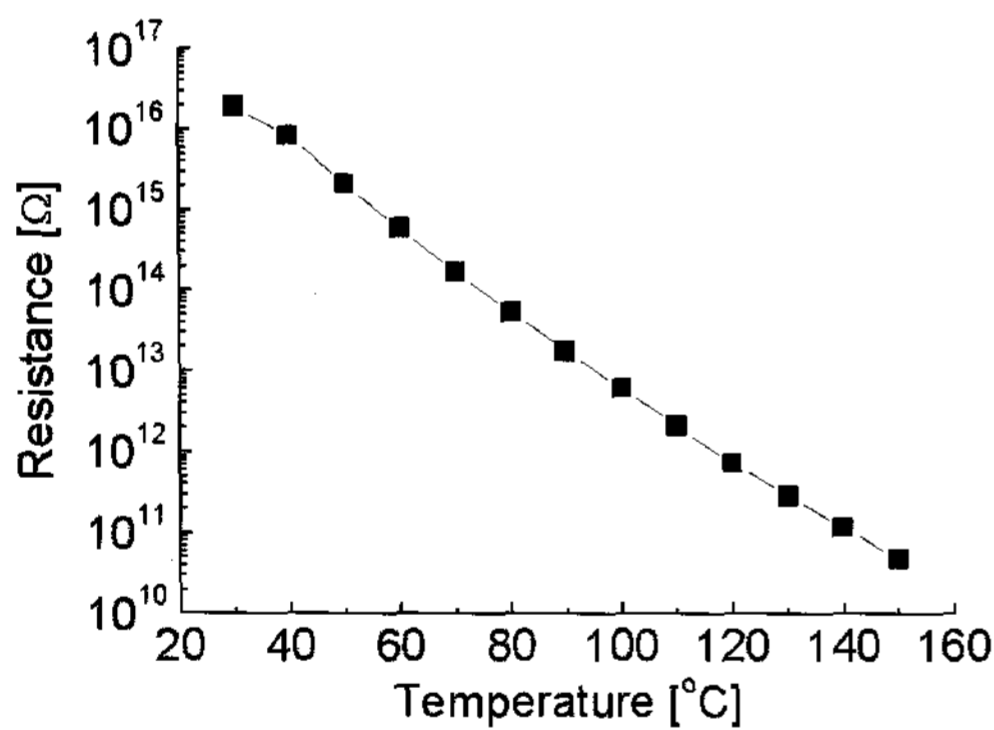


(a)



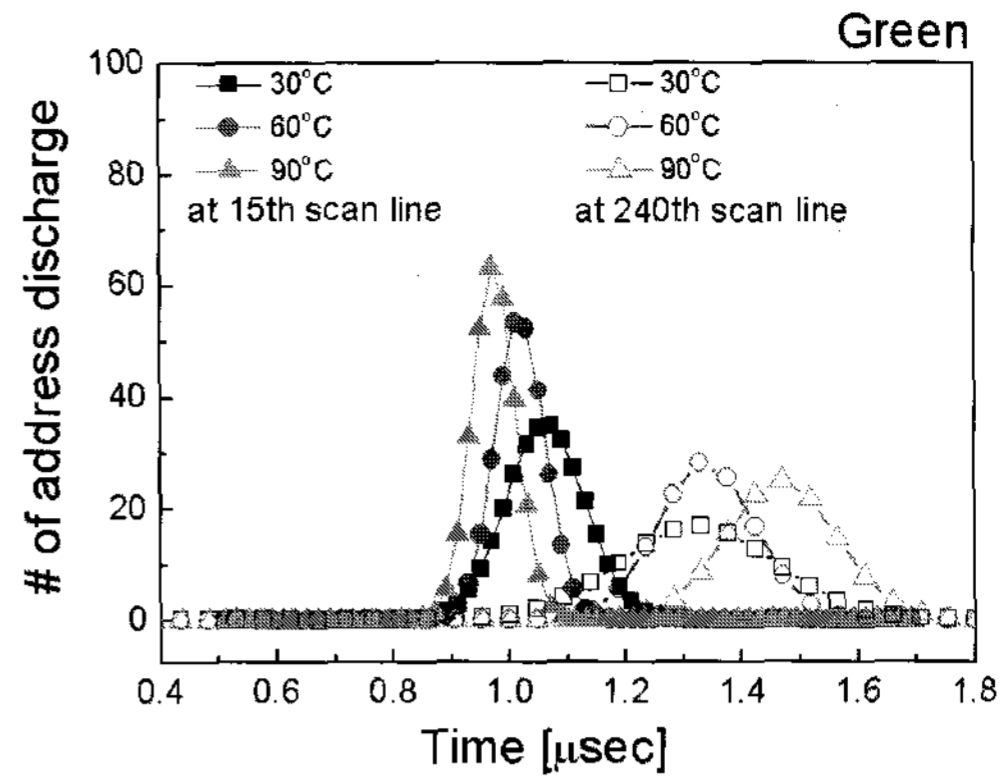
(b)

[그림 4] 온도에 따른 MgO 표면 저항을 측정하기 위한 측정 시료(a)와 측정 시스템(b) 개념도



[그림 5] 온도에 따른 MgO 박막의 표면 전도도 특성

정도의 두께로 올린 후, [그림 4]에서와 같이 금(Au)을 이용하여 약 300 μm의 간격을 가지는 원형모양의 전극을 스퍼터를 이용하여 형성시켰다.¹³⁻¹⁴ 이렇게 제작된 시료에 100V의 정전압을 가하고 고정밀 전위차계(Keithley-617)를 이용하여 MgO 표면을 따라 흐르는 전류를 할로겐 램프를 이용하여 온도를 변화 시키며 측정하였다. [그림 5]의 측정 결과가 나타내듯이 MgO 박막의 표면은 상온에서 약 10¹⁶Ω 정도의 높은 저항값을 가지는 완전 부도체라 할 수 있다. 그러나 온도가 상온에서 150°C까지 증가하면서 약 10¹⁰Ω 정도로 저항값이 지수적으로 감소하는 결과를 나타내었다. 이러한 온도에 따라 감소하는 MgO 표면 저항 특성은 MgO 표면에 쌓여진 벽전하들이 소멸해 가는 과정에 영향을 미치는 한 요인이라 사료된다. 특히 고정세 PDP에서 스캔라인

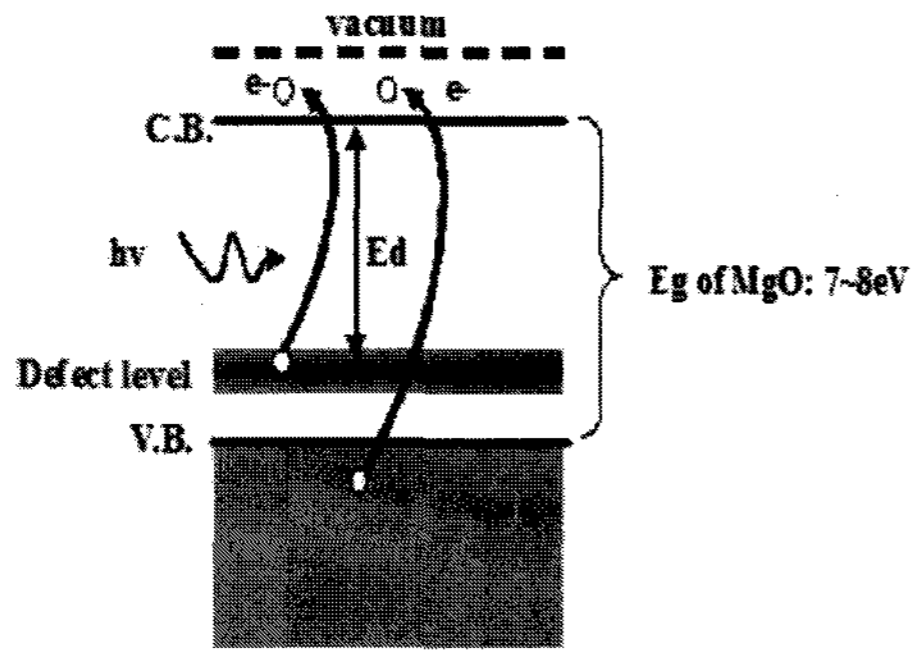


[그림 6] 온도에 따른 어드레스 방전 지연특성

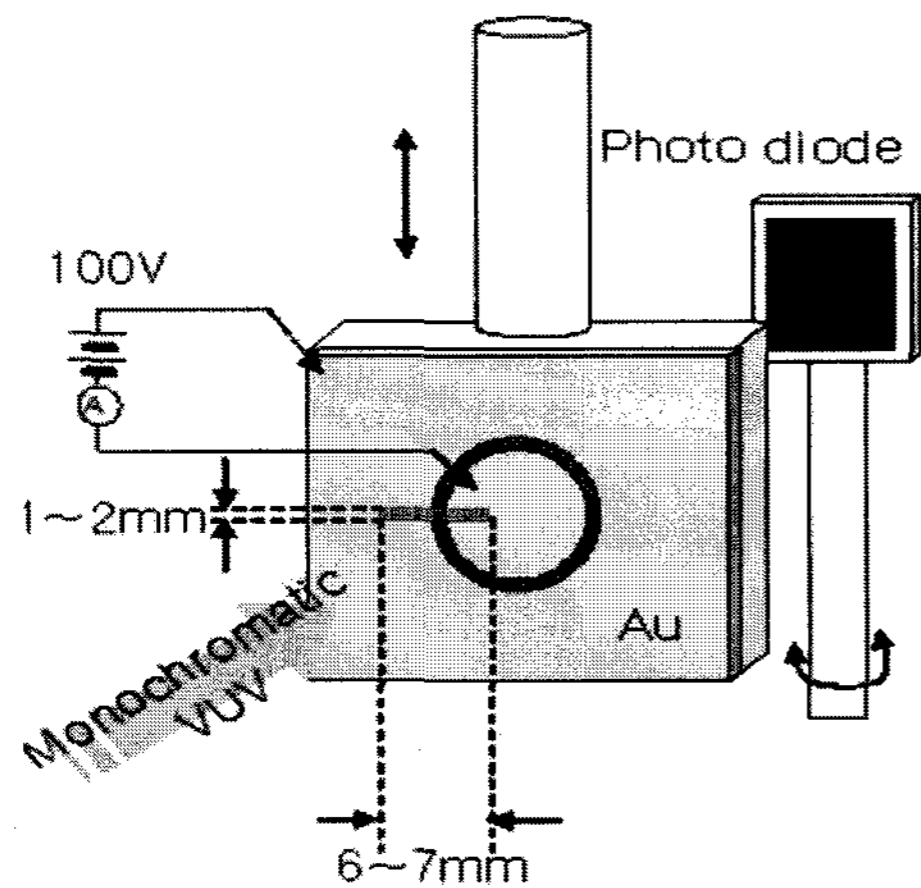
의 증가에 따라 리셋 구간이후 장시간이 요구되는 스캔 구간(scan period) 특성상, 데이터 기입방전에 영향을 줄 것으로 생각된다. 이러한 MgO 박막의 특성을 패널구동에서 확인하기 위해 패널의 온도를 변화시키며 어드레스 방전 특성을 실험으로 확인 하였다. [그림 6]은 녹색형광체의 방전 셀에서 어드레스 방전이 발생하는 시간적 분포를 온도에 따라 측정하여 도시한 결과이다. 실험결과는 상온에서의 15번째 스캔라인과 240번째 스캔라인의 분포가 온도가 증가할수록 점점 더 격차가 커지는 것을 보여주고 있다. 이러한 현상의 원인으로 방전 자체가 온도에 영향을 받을 수 있고, 더불어 초기화 방전후 MgO 표면에 쌓여진 벽전하가 고온에서 MgO 표면 저항값의 변화로 영향을 받아 초래된 결과로도 추론이 가능하다. 즉, 쌓여진 벽전하의 형성모양이나 벽전하 소멸과정이 고온에서 MgO 박막의 저항값 감소로 인해 어드레스 전극과 스캔전극간의 전기장이 약화되었으리라 생각된다. 실제 유전체 표면이나 전기적 저항값을 가지는 물질의 표면에 형성된 벽전하의 소실이나 확산에 관한 연구¹⁷⁻¹⁹는 여러 그룹에 의해 수행되었으며 교류형 PDP에서도 이러한 현상으로 인해 발생하는 고온에서의 오(誤)방전 현상을 설명할 수 있으리라 사료된다.

2. 외부 광자(Photon) 에너지 입사에 따른 MgO 박막의 전기적 특성과 방전전압

[그림 7]에서와 같이 MgO 박막과 같은 부도체(Insulator)에 밴드갭(band gap)보다 큰 에너지가 외부에서 주어진다면 가전자대(valence band)에는 전자-정공 쌍이 발생되어 전자는 전도대(conduction band)로 여기 된다. 이에 전도대로 여기된 전자는 인가된 전기장에 따라 이동하게 되므로 전류의 흐름이 발생된다. 이와 같은 원리를 이용하면 입사하는 에너지 크기에 따라 MgO 박막의 표면을 따라 흐르게 되는 전류의 양을 관측할 수 있고, MgO 박막의 밴드갭 구조를 파악할 수 있으며, 금지대(forbidden band)에 존재하는 결함 준위(defect level)의 위치나 분포, 밀도 또한 추정 할 수 있다. 따라서 본 연구팀은 국내 포항가속기 연구소에서 제공하는 싱크로트론 소스를 이용하여 약 5.5 eV에서 22eV에 이르는 빔을 MgO 박막 표면에 조사 시킴



[그림 7] MgO 박막의 에너지 밴드구조 개념도

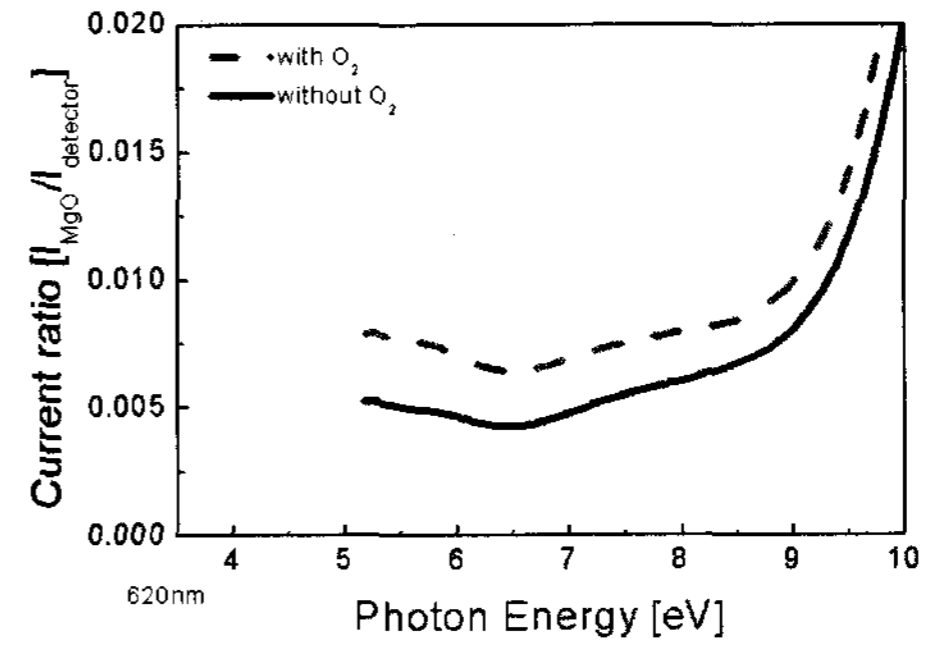
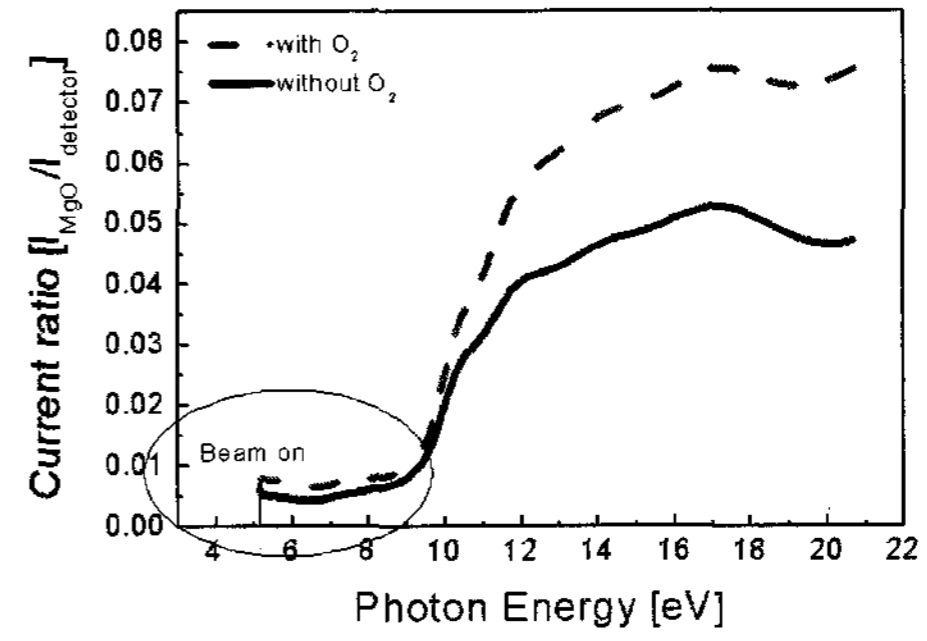


[그림 8] 싱크로트론 소스를 이용한 MgO 박막의 표면전류 측정 개념도

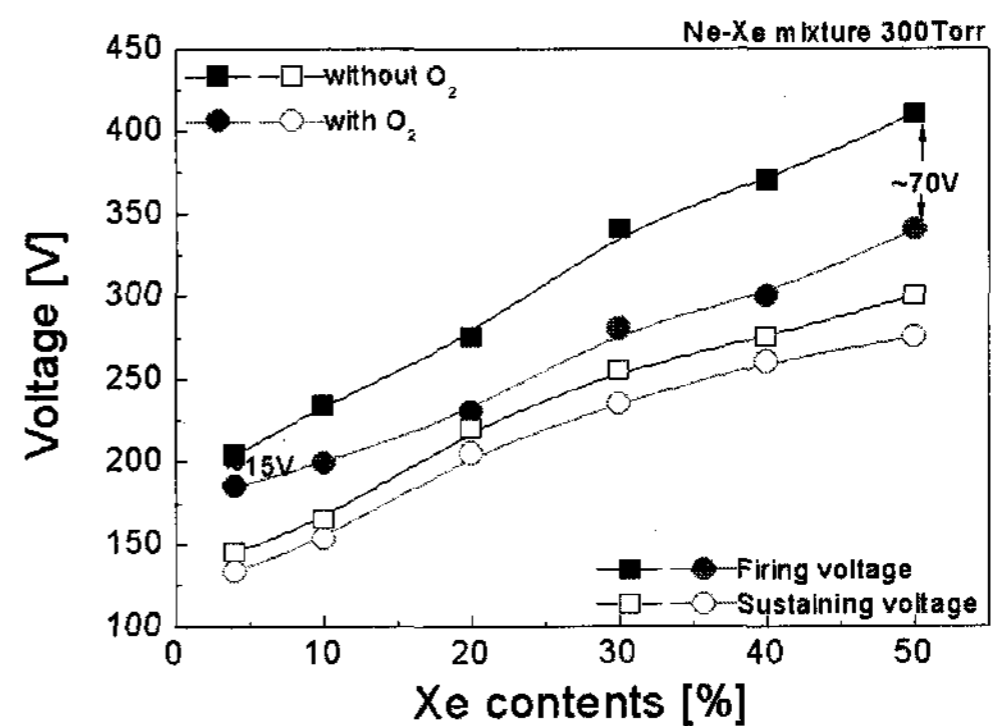
으로써 MgO 박막의 밴드구조를 관찰하였다.

[그림 8]은 진공자외선에 의해 여기되는 MgO 박막의 표면 전류를 관찰하기 위해 제작된 시료 및 측정 기구에 대한 개념도 이다. 시료에 대한 기본 구조는 1절에서 언급한 구조와 동일하며 싱크로트론 소스에서 제공되는 빔의 면적이 한정되었기 때문에 시료의 일부분에만 조사하여 연속적인 단파장에 대한 MgO 박막의 표면 전류를 측정하였다. 입사되는 진공자외선의 시변특성을 보정하기 위해 광검출기를 이용하여 측정된 MgO 표면전류와 비교하였다.

[그림 9]는 산소 분압에 따라 증착된 MgO 박막의 표면 전류를 입사된 광자에너지에 따라 표시한 결과이다. 이 결과는 증착 중 진공 챔버에 산소를 주입한 샘플과 그렇지 않은 샘플간의 표면 전류가 매우 큰 차이를 나타낸다. 또한 약 9eV에서부터 급격히 증가하는 표면전류는 MgO 박막의 가전자대 (valence band) 시작점을 나타내는 것으로 사료된다. 5.5 eV에서 약 8eV의 낮은 에너지 영역에서 보여주는 전류의 차이는 산소주입으로 인해 발생하는 결함 준위(defect level) 즉, F-F+ center의 밀도차이로 사료된다. 이러한 결과는 앞서 언급한 NHK 그룹의 산소분압에 따른 MgO 박막의 CL 결과와도 상관성을 보인다. 산소 분압 증가로 결함 준위의 밀도가 증가된 MgO 박막으로 방전 실험을 한 결과, [그림 10]의 결과를 관찰할 수 있었다. 패널 실험 결과에서 Xe의 농도가 증가 할수록 방전전압의 차이는 더욱 커



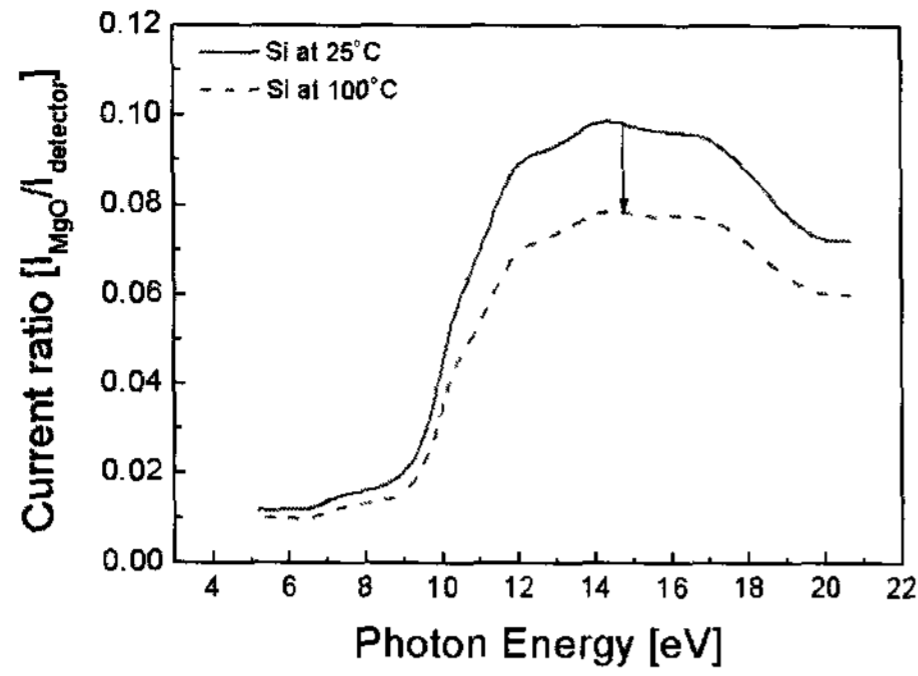
[그림 9] 조사된 진공자외선의 에너지 크기에 따른 MgO 박막의 표면 전류



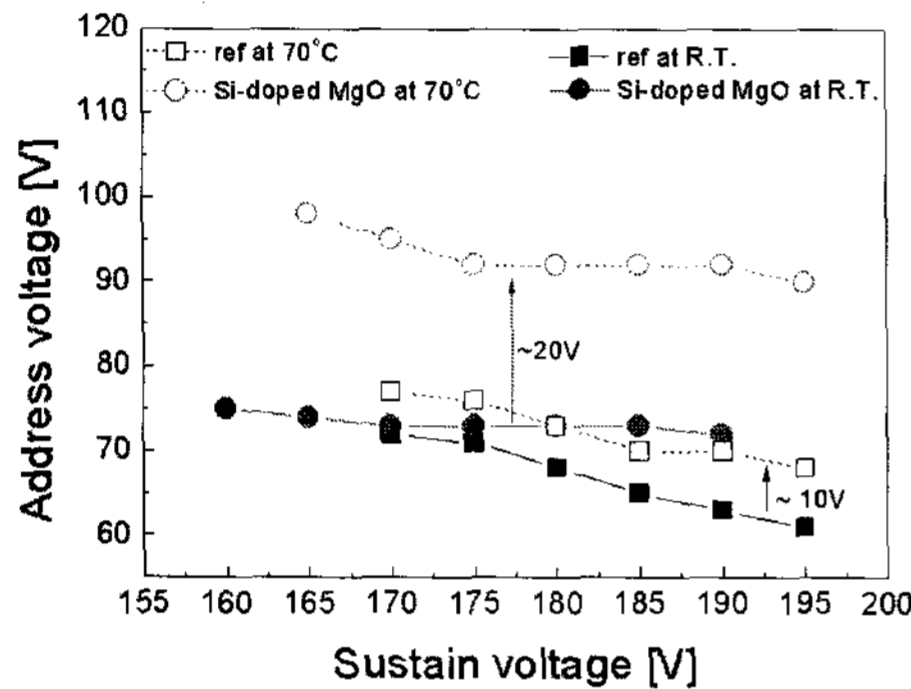
[그림 10] Xe 함량에 따른 방전 개시 및 유지 전압

지는 결과를 보인다. 이는 Xe 농도의 증가로 인해 증가된 Xe이온이 산소가 주입된 MgO에서는 전자가 포획된 결함 준위의 증가로 2차 전자 방출에 기여하는 비율이 높아짐을 보여주고 있으며 이는 외부 에너지 주입에 따른 MgO 박막의 표면전류 특성과 깊은 상관성을 보여 주고 있다.

본 연구팀은 Si을 도핑한 MgO 박막에 대해서도 입사되는 에너지에 따라 표면전류를 관찰하였다. Si을 도핑한 MgO 박막의 경우, 방전 지연특성은 우수하나 고온상태에서의 방전전압특성은 좋지 않다고 알려져 있다. [그림 11]의 결과는 Si 도핑한 MgO 샘플에 대해 기판 온도를 상온과 100°C로 조절하여 입사 에너지에 따른 MgO 표면전류를 보여 주고 있다. 실험 결과에서 볼 수 있듯이 온도가 증가됨에 따라 Si 도핑한 샘플은 온도에 대한 표면 전류 특성이 크게 나빠지는 결과를 보인다. 이러한 결과로부터 고온에서 Si을 도핑한 MgO 박막의 방전특성이 저하될 것임을 예측할 수 있으며, 이러한 결과는 패널을 제작하여 실험을 통해 확인되



[그림 11] Si을 도핑한 MgO 시료에 대한 전기 전도도의 온도 특성



[그림 12] 패널 주변 온도 변화에 따른 Si을 도핑한 MgO와 일반 MgO의 어드레스 방전 전압 특성

었다. [그림 12]는 패널 주변온도를 조절하며 Si을 도핑한 MgO 부분과 그렇지 않은 부분의 온도에 따른 방전 특성을 살펴본 결과이다. 표면전류의 측정 결과에서 추정하였듯이 Si을 도핑한 MgO 샘플에서 온도 증가에 따른 방전 전압이 크게 상승함을 보였다. 즉, 고온에서 입사에너지에 따른 표면전류의 감소, 특히 결합 준위에서의 전류 밀도 감소는 고온에서 패널의 방전특성 저하와 밀접한 상관관계를 보여 주고 있음을 나타낸다.

IV. 맺 음 말

이상과 같이 MgO 박막에 대한 연구는 초기 재료에 대한 기초적인 연구에서 출발하여 PDP 방전의 응용에 관하여 다양한 접근 방법으로 분석되고 있으며 개선되고 있다.

방전특성의 개선을 위해 수화나 오염을 막는 수동적인 접

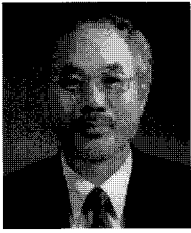
근법 뿐만 아니라, 방전 지연특성을 개선하기 위한 새로운 막을 추가하거나 MgO 박막의 2차 전자 방출 계수를 개선시키기 위한 첨가물을 도핑하는 단계에 이르렀다. 이렇게 개선된 MgO 박막에 대한 평가법은 앞서 언급한 다양한 방법으로 평가될 수 있으나, 이러한 평가법으로 PDP의 방전특성과 직접적으로 연관 지어 고찰하기에는 부족한 부분이 없지 않아 있으리라 사료된다.

본 연구팀에서는 온도 증가에 따라 급격히 감소하는 MgO의 표면저항 특성과 증착 시, 산소의 주입 유무에 따른 MgO와 Si을 도핑한 MgO 박막에 연속적인 광자 에너지를 입사시켜 여기되는 표면전류특성을 관찰하였다. 그 결과, 고온에서 감소하는 표면 저항특성은 긴 데이터 기입구간에서 벽전하의 소멸에 영향을 미치리라 사료되며, 입사 에너지에 따른 표면전류결과는 MgO 박막의 방전전압과 관련된 특성을 평가할 수 있는 방법이 됨을 확인하였다. 그러나 포항고속기 연구소의 시스템 구성의 한계로 인해 제공되는 싱크로트론의 빔의 저에너지 영역이 5.5eV로 한정 되어 있는 문제는 MgO 박막의 밴드갭 전체를 확인할 수 없는 결과로 남게 되었다. 하지만, 외부 입사에너지에 의한 표면전류를 관찰함으로써 이러한 평가법이 방전전압특성과 직접적으로 연관 지을 수 있는 또 하나의 평가법이 될 수 있으리라 생각된다.

참 고 문 헌

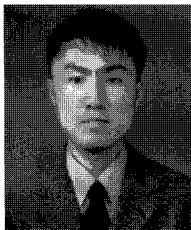
- [1] Patent, US2004/0070341 or EP1408529(A2).
- [2] M. Amatsuchi, *et al.*, *Proc. IDW'05*, pp.435-438, 2005.
- [3] C. H. Ha, *et al.*, *Proc. IMID'05*, pp.835-838, 2005.
- [4] C. H. Ha, *et al.*, *Proc. IMID'06*, pp.723-726, 2006.
- [5] Y. Motoyama, *et al.*, *J. Appl. Phys.* 95, 8419, (2004).
- [6] T. Shinoda, *et al.*, *Proc. SID*, pp.161-164, 1993.
- [7] I. Somerville, *et al.*, *Proc. R. Soc. Lond. A* 399, pp. 277-293 (1985).
- [8] V. Nikonov, *et al. IEEE Trans. Plasma Sci.* 29, 866 (2001).
- [9] F. L. Curzon, *J. Appl. Phys.* 66, 1517 (1989).
- [10] G. H. Rosenblatt, *et al.*, *Phys. Rev. B* 39, 309, (1989).

저자 소개



황기웅

1968~1972 : 서울대학교 공대 응용물리 학사, 1975~1976 : 미국 UCLA 플라즈마물리학 석사, 1977~1981 : 미국 UCLA 플라즈마물리학 박사, 1991~1995 : 서울대 반도체공동연구소 소장, 1993~1995 : 차세대 반도체 개발사업단 단장, 1983~현재 : 서울대 전기과 조교수, 부교수, 교수, 2004~현재 : 디스플레이연구센터 센터장, 2006~현재 : 한국정보디스플레이학회 회장



하창훈

2000. 2 경북대학교 전자공학과 학사, 2002. 2 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사, 2002.3~현재 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사과정 중