

저 소비전력 AC PDP용 보호막의 개발동향

김 용 석 (홍익대학교)

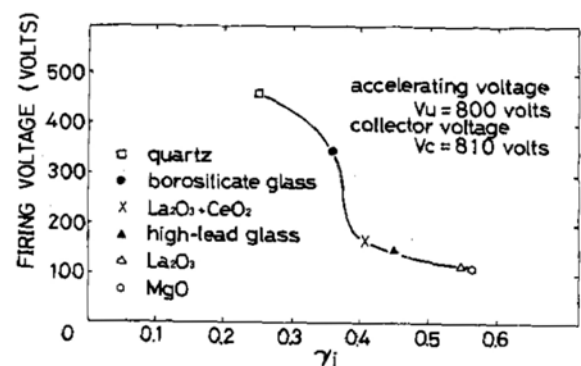
I. 서 론

AC PDP가 개발되었던 초기에는 전극 표면에 유리질 유전막이 코팅되어 있는 유전막 장벽 방전 방법을 사용하였는데, 이 소자의 방전 전압이 높은 것은 물론, 소자의 방전 전압이 사용 시간이 증가함에 따라서 지속적으로 변화하는 문제점이 있어서, 방전을 유지하기 위해서는 인가 전압을 지속적으로 변화시켜주어야 하는 문제점이 있었다. 이러한 문제점은 전극의 표면에 코팅되어있는 유전막이 시간이 증가함에 따라 플라즈마 방전에 의하여 생성된 이온에 의하여 스퍼터링 되어, 유리질 유전막의 국부적인 성분이 변화하고, 두께가 얇아지기 때문에 발생하는 현상이었다. 이때 사용되었던 유리질 유전막은 비교적 쉽게 이온에 의하여 스퍼터링되어 유전막의 두께가 쉽게 얇아져서, 기기 수명이 수천시간에 지나지 않는 문제점이 있었다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 스퍼터링에 대하여 높은 저항성을 지니고, 방전 전압을 낮출 수 있는 재료에 대한 연구가 진행되었는데, 1976년 일본의 Uchiike 교수^[1]는 MgO를 유리질 유전체의 표면에 막막으로 코팅하면, [그림 1]과 같이 방전 전압을 획기적으로 낮추는 것이 가능하고, 시간에 따라 방전 전압의 변화가 최소화되는 것을 관찰하였다. 이것은 MgO가 Ne 이온에 의한 2차 전자 방출 계수가 높고, 스퍼터링에 대한 저항성이 높기 때문에 나타나는 현상인데, 이에 따라, MgO 박막은 AC PDP에서 가장 중요한 재료로서 자리를 잡게 되었다.

최근 AC PDP의 소비 전력을 감소시키기 위해서, 플라

즈마 방전 과정에서 진공 자외선(Vacuum UV)을 방출하는 Xe 함량을 증가시키기 위한 연구가 활발하게 진행하여, 방전 효율을 획기적으로 증가시킬 수 있는 것이 확인되었다. 그러나 증가된 Xe 함량은 방전 전압을 증가시키고, 결국은 비방전 소비 전력인 패널의 reactive 소비 전력을 증가시켜, 궁극적으로는 패널의 소비 전력을 감소시키는데 한계가 있는 것으로 확인되었다. 이것은 지금까지 사용되어왔던 MgO는 Xe이온에 의한 2차 전자를 방출이 곤란한 특성을 갖고 있기 때문이다. 과거 10여년에 걸쳐서 MgO 보호막 재료를 대체하기 위한 다양한 연구가 진행되었음에도 불구하고, 1970년대 말에 개발되어 사용된 MgO 박막이 40년이 지난 지금에도 그대로 사용되고 있다. 따라서 본 논문에서는 현재 사용되고 있는 MgO 재료의 특성에 대해서 논의하고, 현재까지 개발되어온 재료의 특성에 대해서 논의하기로 한다.



[그림 1] 재료의 종류에 따른 2차 전자 방출 계수 및 방전 전압

II. MgO 박막에서 전자 방출 현상

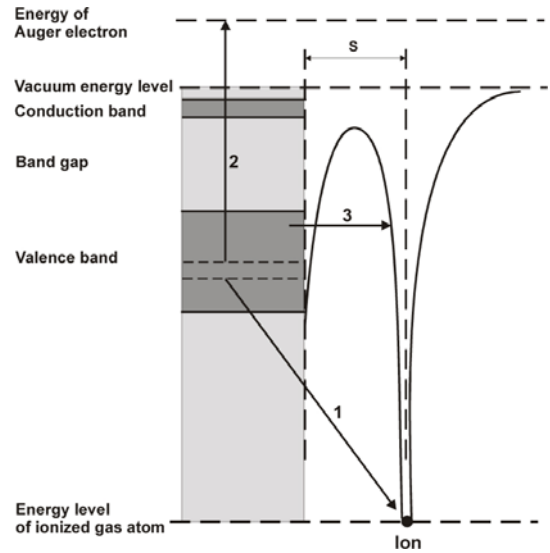
불활성 개스가 채워져 있는 공간에 위치하여 있는 두 개의 전극 사이에 전압을 인가하여, 플라즈마 방전을 개시하기 위해서는 먼저 방전 공간 내에 씨앗 전자가 존재하여야 한다. 씨앗 전자는 방전 개스인 불활성 개스가 고에너지 우주 입자 또는 광자에 의하여 이온화 반응으로 형성되거나, MgO 박막에서 방출되는 것으로 알려져 있는데 이의 방출 기구에 대해서 논의하기로 한다.

한편 두 개 떨어져 있는 전극 사이에 인가된 전압에 의하여 충분히 가속된 씨앗 전자는 불활성 개스 원자와 충돌하여 이온화 반응을 일으키고(1차 이온화 반응), 이 반응으로 생성된 전자들이 다시 가속되어 이온화 반응을 반복함에 따라 방전 공간 내에 이온과 전자의 밀도가 급속하게 증가하고(electron avalanche, 전자 사태), 궁극적으로는 플라즈마가 형성된다. 이러한 플라즈마의 형성 기구는 형광등과 같이 방전 공간이 수십 cm에서 수 m로 큰 경우 주로 작동하는 것으로 알려져 있다.

이에 비하여 플라즈마 TV는 방전 공간이 1mm이하로 매우 작는데, 작은 방전 공간에서 플라즈마 방전이 형성되기 위해서는 방전을 통하여 생성된 양 이온이 음극 표면으로 이동하여 반응하여 충분한 개수의 전자를 생성시켜야 한다. 즉 양이온과 음극 표면의 MgO와 반응으로 통하여 형성된 전자(2차 전자)가 전극 표면에서 다시 가속되어, 이온 및 전자의 밀도를 증가시키고, 이에 따라서 플라즈마 방전이 형성되는 것이다. 따라서 플라즈마 TV와 같이 방전 공간이 작은 조건에서는 이온 하나당의 2차 전자의 방출 특성이 매우 중요한데, 이를 2차 전자 방출계수라고 한다. 따라서 먼저 MgO 박막에서 2차 전자 및 씨앗 전자의 방출 기구를 살펴보기로 한다.

1. MgO 박막의 2차 전자 방출 기구 및 2차 전자 방출 계수에 미치는 인자

MgO와 같이 부도체의 표면에 이온이 접근하여 2차 전자가 방출되는 현상에 대해서는 Hagstrum^[2]이 1950년대에 Auger Neutralization 반응 모델을 제공하였다. 즉 아래 [그림 2]에 나타낸 바와 같이, 재료의 표면에 접근된 이온



[그림 2] Auger 중화 반응 기구에 의한 2차 전자 방출 기구

과 원자가 밴드(valence band)에 존재하는 전자 (1)가 터널링 반응을 통하여 중화 반응을 발생시키고, 이때 형성된 에너지가 밴드 내에 존재하는 다른 전자(2)에 전달되는 기구이다. 이때 중화 반응에너지가 충분히 크면, 전자 에너지를 진공 에너지 준위 이상으로 여기(excited)시키고, 이에 따라 전자가 재료 밖으로 방출되는 것이다.

여기서 2차 전자의 방출 계수는 중화 반응에 의하여 여기된 전자의 개수 대비 재료밖으로 방출된 전자의 개수인데, 이 계수에 영향을 미치는 인자는 (1)Band Gap 에너지, (2)재료내의 결합 밀도, (3)전자 친화도(electronic affinity), (3)이온의 중화에너지 및 (4)재료의 표면 상태 등이 주요 변수이다.

먼저 앞의 [그림 2]에서 Band gap 에너지 값 및 전자 친화도 값이 감소함에 따라, 동일한 중화 반응 에너지에서 여기된 전자는 진공 에너지 준위보다 높은 에너지 상태로 여기되기 비율이 증가하기 때문에, 2차 전자 방출 계수를 증가시키게 된다. 그러나 순수한 MgO 재료에서는 band gap 에너지를 조절하기 어렵기 때문에, 새로운 재료를 사용할 경우에서나 적용 가능한 변수이다. 새로운 보호막 재료에 대해서는 다음절에 논의하기로 한다.

(1) MgO 재료내의 결합 밀도

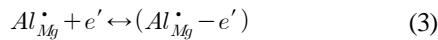
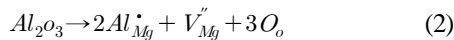
MgO와 같은 이온 결합성 산화물 재료내에는 다양한 형태의 하전된(charged) 진성 (intrinsic) 및 외인성(extrinsic)

의 결함이 존재하는데, 이들 결함이 여기된 전자를 trapping하는 역할을 하여 2차 전자 방출 계수를 감소시키거나, 중화 반응 에너지에 의하여 여기되는 전자 소스로 작용하여 2차 전자 방출계수를 증가시키는 역할을 하는 것이다.

일정 온도에서 재료에는 열역학적 평형 엔트로피를 만족시키기 위해서 공공(vacancy)과 같은 진성 결함이 발생하는데, 즉 산소 이온이 존재하였던 격자 위치에 발생하는 산소 공공 (V_{O})과 마그네슘 이온이 존재하였던 격자 위치에 발생하는 마그네슘 공공 (V_{Mg}'')이 그들 결함이다. 이들 결함 밀도는 온도가 증가함에 따라서 증가하는 것이 일반적인데, 박막의 증착 온도를 400°C로 가정할 때 결함의 mole fraction은 10^{-12} 정도로 계산되어, 이들 결함이 상대적으로 낮은 것으로 알려져 있다.

$$\begin{aligned} n_{\text{null}} &= V_{\text{Mg}}'' + V_{\text{O}} \cdot, [V_{\text{Mg}}''] = [V_{\text{O}}] = K_s^{1/2} \\ &\approx \exp\left(-\frac{\Delta h_s}{2kT}\right) = 2.5 \times 10^{-12} \end{aligned} \quad (1)$$

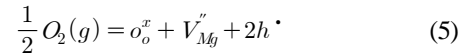
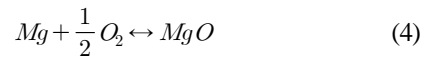
이에 비하여 외인성 결함은 MgO 재료내에 원자가가 다른 불순물 산화물(예: Al_2O_3)이 존재할 때, 전기 중성도를 만족시키기 위해서 아래의 식 (2)와 같은 반응이 발생하게 된다. 이 반응을 통하여, 양이온성 결함, $\text{Al}_{\text{Mg}}^{\bullet}$, 이 발생하고, 이는 MgO의 전도대로 여기된 전자를 trapping하여, 식 (3)에 나타낸 것과 같은 $\text{Al}_{\text{Mg}}^{\bullet} - e'$ trap 레벨을 만들게 된다.



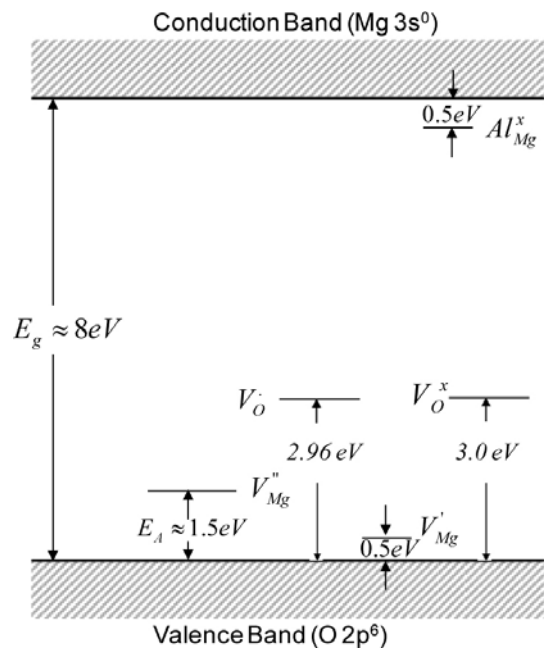
이와 같은 외인성 결함의 농도는 MgO 재료내의 불순물 산화물의 함량에 의하여 결정되는데, 통상적으로 MgO 재료내의 불순물의 함량이 수십 ppm에서 수백 ppm의 범주에 있는 점을 고려하면, 외인성 결함 농도가 진성 결함 농도에 비하여 매우 높은 것임을 알 수 있다. 한편 $\text{Al}_{\text{Mg}}^{\bullet} - e'$ trap에 포획된 전자는 [그림 3]에 나타난 것과 같

이 전도대 바로 아래에 위치하여 열적인 활성화 과정을 통하여 전도대로 다시 여기될 수 있는 특성을 가지게 된다.

결함의 밀도에 영향을 미치는 또 하나의 인자는 비화학 당량(non-stoichiometry)이다. MgO는 다음 식 (4)와 같은 화학 평형식을 만족하여야 하는데, 400°C로 가정하여 평형 산소 분압을 계산하여 보면, 10^{-48} atm가 얻어진다. 즉 대부분의 MgO의 증착 조건에서 산소의 분압이 평형 분압보다 매우 높은 상태가 되고, 이에 따라, 식 (5)와 같은 결함 생성 반응이 발생하게 된다.



상기의 반응들을 종합하여 보면, MgO내에는 다양한 결함들이 존재하고, 이들 결함이 band gap 내에 에너지 준위를 형성하게 되는데, 이들 결함의 에너지 준위를 나타내면 아래의 [그림 3]과 나타나는 것이다. 여기서 산소 공공에 전자가 하나 trap되어 있는 상태(V_{O}), 또는 두개가



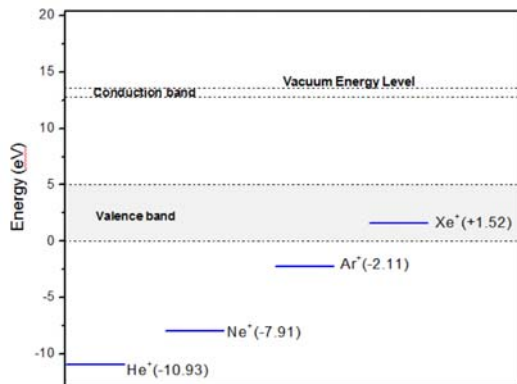
[그림 3] MgO 밴드갭내의 결함 에너지 준위

trap되어 있는 상태(V''_0), 또는 외인성 결함에 앞에서 언급한 중화 반응 에너지가 공급되면, 이들 전자는 MgO 재료 밖으로 방출될 수 있는 에너지 상태로 쉽게 여기되어 2차 전자 방출 계수를 증가시키는 역할을 한다. 그러나 이들 결함은 또한 여기된 전자를 trapping하는 역할을 하기 때문에, 결함의 trapping 영향이 상대적으로 클 경우에는 2차 전자 방출 계수를 감소시키는 역할을 하게 된다.

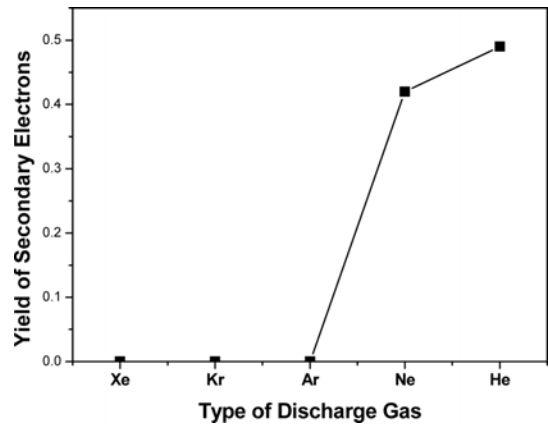
(2) 이온의 중화 에너지

플라즈마 방전 개스로서 사용되는 불활성 개스는 각기 다른 이온화 에너지를 갖는데, MgO 재료의 진공 에너지 레벨 대비 이들 이온의 에너지 준위를 나타내면 [그림 4]와 같다. 즉 이온화 에너지가 큰 He 개스의 경우, He 이온이 매우 낮은 에너지 준위에 위치하게 되고, 이에 따라서 원자가 전자대에 있는 전자들이 중화 반응을 일으키게 되면, 큰 에너지가 방출되고, 이 에너지는 대부분의 전자를 진공 에너지 준위보다 높은 에너지 상태로 여기시키는 것이 가능하며, 2차 전자 방출 계수가 높게 된다. 이에 비하여 제논 이온의 경우에는 원자가 전자대의 전자와의 중화 반응 에너지가 상대적으로 작아서, 전자를 진공에너지 준위 이상으로 여기시키는 것이 불가능하게 되어, 2차 전자 방출 계수가 0이 되는 것이다.

[그림 5]는 Hagstrum의 Auger 중화 반응 모델을 이용하여 가스의 종류에 따른 MgO 표면에서의 2차 전자 방출 계수를 계산하여 나타낸 그림이다^[3]. 그림에서 볼 수 있듯이, 결함이 없는 MgO 박막에서는 Ne 및 He 이온들만이 2차 전자를 방출하는 것이 가능하고, 다른 이온 특



[그림 4] 불활성 가스 이온의 에너지 준위



[그림 5] MgO와 Auger 중화 반응에 의한 불활성 가스의 2차 전자 방출 계수

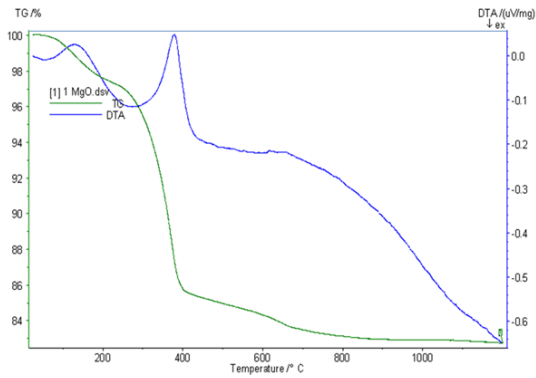
히 AC PDP의 효율을 증가시키기 위해서 사용하는 Xe 이온은 2차 전자 방출이 불가능한 것을 알 수 있다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 band gap내에 에너지 준위가 전도대에 가까운 결함이 존재할 경우에는, 이들 결함 내에 trap되어 있는 전자를 여기시킴으로서 2차 전자를 방출시키는 것이 가능하게 될 것이다. 그러나 이 반응을 통하여 방출되는 2차 전자의 비율은 매우 낮기 때문에, 2차 전자의 방출 계수도 거의 0에 가까운 값을 가지게 된다.

(3) MgO 박막 재료의 표면 상태

상기의 물리적인 특성과 더불어, 2차 전자를 방출하는데 있어서 매우 중요한 영향을 미치는 인자가 MgO 박막 재료의 표면 상태이다. MgO는 대기중의 이산화 탄소와 수분과 반응하여, 탄산염과 수화물을 MgO 박막 재료 표면에 형성하는데, 이들 화합물은 2차 전자 방출 계수가 매우 낮은 물질이다. 따라서 이들 화합물이 형성된 박막은 2차 전자 방출 계수가 낮게 되고, 이에 따라 방전 전압이 높게 증가된다.

[그림 6]은 MgO 분말을 대기 중에 24시간 이상 노출시킨 후, TG/DTA 분석 실시한 결과이다. 그림에서 보면, 초기의 무게 감량 후, 약 400°C 부근에서 매우 큰 무게 감량이 발생하는 것을 알 수 있다. 이 무게 감량은 수화물 (Mg(OH)₂ nH₂O)가 분해되는 반응이고, 그 이상의 온도에서의 무게 감량은 탄산염(MgCO₃)이 분해 반응이다.

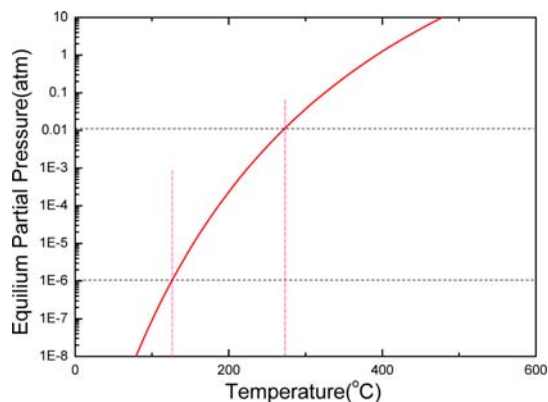
이러한 수화물 및 탄산염의 분해 반응을 촉진시키는 방법 중의 하나는 진공 분위기를 유지시켜, 수분 또는 이



[그림 6] MgO 분말의 TG/DTA 분석 결과

산화 탄소의 가스 분압을 낮추는 것이다. 즉 아래의 그림은 MgO 재료에서 온도에 따른 평형 이산화 탄소의 분압을 계산하여 나타낸 것이다^[4]. 그림에서 볼 수 있듯이, 평형 분압이 온도가 감소함에 따라서 감소하는 것을 볼 수 있고, 이들 평형 분압보다 낮게 분위기를 유지하게 되면 탄산염이 분해되어 MgO 산화물이 형성되게 된다. [그림 6]에서 보면, CO₂ 분압을 10⁻⁶ atm 정도로 유지하면, 120°C 이상의 온도에서는 2차 전자 방출 계수가 우수한 MgO가 안정한 상태가 유지되는 것이다. 수화물의 경우에는 [그림 6]에서 나타낸 커브보다도 낮은 온도에서 분해되는 특성을 갖는다. 즉 MgO 박막의 경우에, 대부분의 배기 조건에서 표면에 형성된 수화물 또는 탄산염이 분해되기 때문에, 안정적인 보호막 재료로서 사용될 수 있었다.

결국 MgO 박막 재료가 현재까지 보호막 재료로서 지속적으로 사용되어 올 수 있었던 것은 산소 이온과 마그



[그림 7] MgO 탄산염의 이산화 탄소 평형 분해 분압

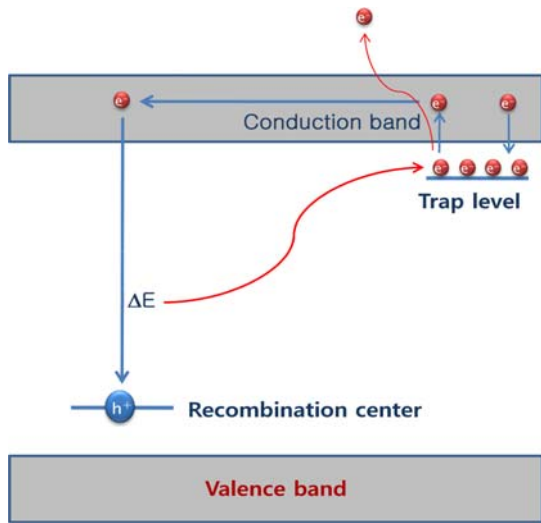
네슘 이온간의 강력한 이온 결합에 의한 내 스퍼터링 특성, 적절한 band gap 에너지, 낮은 결합 밀도 및 저온에서도 쉽게 분해되는 수화물 및 탄산염의 특성을 갖추었기 때문이다. 이와 더불어 본 고에서는 논의하지 않았지만, MgO 재료가 등방성 결정 구조인 Face Centered Cubic 구조를 가지고 있어, self-trap을 형성하지 않는 특성을 갖고 있는 것도 우수한 2차 전자 방출 계수를 갖게 만든 인자이다. 따라서 향후 개발될 재료의 경우에도, MgO 재료가 보유한 상기의 중요 특성을 가져야 하는 것이다.

2. MgO 박막의 엑소 전자 방출 특성에 미치는 인자

한편 MgO 재료의 표면에서 이온과의 중화 반응으로 2차 전자가 방출되는 것과는 달리, 플라즈마 방전이 종료되고 난 후에 MgO 재료로부터 전자가 방출되는 현상이 관찰되었는데, 이를 엑소 전자(exo-electron) 방출이라고 한다. 이러한 현상은 [그림 8]에 모식적으로 나타낸 것과 같이, 전도대에 인접한 에너지 준위에 trap된 전자가 열적 여기 과정(thermal activation process)을 통하여, 전도대로 여기되고, 이 전자가 recombination 센터에서 중화 반응을 일으킨 후, 생성된 반응 에너지가 trap된 전자에 전달되어 외부로 방출되는 것이다^[5].

이 과정을 통하여 방출되는 엑소 전자는 방전이 완료되고 난 후에도 지속적으로 방출되기 때문에, 방전 공간에서 씨앗 전자로서 작용하게 된다. 이러한 씨앗 전자의 방출 속도는 방전 지연시간을 결정한다. 즉 씨앗 전자의 방출 속도가 증가하면, 방전 지연시간이 감소하는 것이다. 그러나, 이러한 전자의 방출은 해당 부분의 벽전하를 감소시키는 역할을 하게 되기 때문에 오방전의 원인이 된다. 따라서 적절한 엑소 전자의 방출은 방전을 유도하기 위해서 필요하나, 과도한 엑소 전자의 방출은 벽전하를 감소시켜 오방전을 유발하는 원인이 되는 것이다.

엑소 전자의 방출 속도에 영향을 미치는 인자는 전자 trap 에너지 레벨 및 농도, 그리고 온도이다. 즉 전도대로 전자의 열적인 활성화가 쉽게 발생할 수 있는 에너지 레벨이 많을 수록, 엑소 전자의 방출이 많이 발생하고, 온도가 높아질수록 엑소 전자의 발생이 많아지게 되는 것이다. 따라서 방전 지연시간이 짧으며, 오 방전이 발생하지



[그림 8] Auger 반응에 의한 엑소 전자 방출 기구

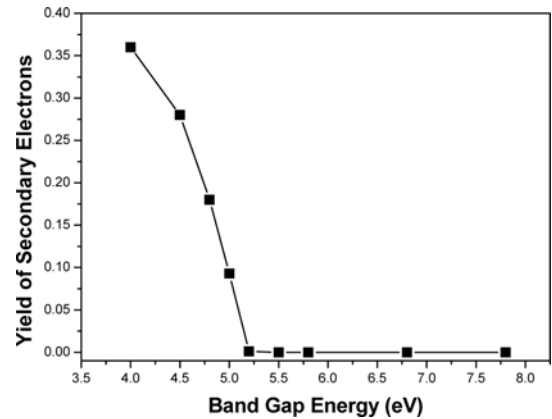
않는 조건을 만족시키기 위해서는 엑소 전자의 방출 속도를 적절하게 조절하는 것이 필요한데 이를 만족하는 조건을 찾는 것은 매우 까다롭다.

따라서 최근에는 MgO 박막으로부터 엑소 전자의 발생을 최소화하고, MgO 나노 분말부터 씨앗 전자를 발생시키는 방법이 일반적으로 사용되고 있다. 이 경우에는 MgO 박막 내에는 엑소 전자의 소스가 되는 전자 trap의 농도를 최소화하는 것이 필요하다. 결국은 앞 절에서 논의한 2차 전자의 소스가 되는 결함의 농도를 최소화해야 하는 것이 되는 것이다.

상기의 2차 전자와 엑소 전자의 방출 거동을 고려한 MgO 보호막은 진성 및 외인성결함의 밀도가 낮아서 엑소 전자의 방출이 없어야 하며, 표면은 수화물 및 탄산염이 완전하게 분해되어 2차 전자의 방출 계수가 높은 산화막 상태가 유지되어 하는 것이다. 그러나 이렇게 얻어진 MgO 박막이라 하더라도, Xe 이온이 중화 반응에 의하여 2차 전자가 방출되지 못하기 때문에 새로운 보호막 재료의 개발이 필요한 것이다.

Ⅲ. 차세대 고효율 보호막 재료의 개발 현황

재료의 band gap 에너지가 Xe 이온의 Auger 중화 반응 기구에 의하여 2차 전자 방출 계수에 미치는 영향을 Hagstrum의 모델을 적용하게 계산하여 [그림 9]에 나타



[그림 9] Xe 이온과의 Auger 중화 반응에 의한 2차 전자 방출 계수에 미치는 band gap 에너지의 영향

내었다. 그림에서 보면, band gap 에너지가 5.2eV 정도 이하로 작은 경우에 2차 전자 방출 계수가 증가하기 시작하여, 5eV 이하에서는 2차 전자 방출 계수의 값이 급속히 증가하는 것을 볼 수 있다.

따라서 상기특성을 가진 차세대 보호막 재료를 개발하기 위한 연구가 다양하게 진행되었는데, 이 재료가 만족해야 하는 기본 요건은 1) FCC와 같은 등방성 결정 구조를 가져야 하고, 2) band gap 에너지가 작아야 하며, 3) 수화물 및 탄산염이 쉽게 분해되는 산화물이어야 하고, 4) 재료내에 비 화학 당량 결합이 많은 천이 금속 산화물과 같이 결합이 많아서는 되지 않아야 하고, 5) 이온간의 결합력이 커서 내 스퍼터링 특성이 우수하여야 한다. 이러한 기본 요건을 만족시킬 수 있는 가능성이 있는 재료는 알칼리 토금속 산화물인 CaO, SrO, BaO등이기 때문에, 이들 재료를 중심으로 차세대 보호막 재료로 개발하기 위한 연구가 활발하게 진행되었다.

[표 1]은 알칼리 토금속 산화물의 탄산염 형성 에너지, 분해 온도 및 산화물의 band gap energy를 나타낸 것이다. 그림에서 살펴보면, 알칼리 토금속 산화물에서 원자 번호가 증가할수록 band gap energy가 감소하는 반면, 탄산염의 형성 엔탈피가 증가하고, 분해 온도가 증가하는 것을 볼 수 있다. [표 1]에서 살펴보면, Band gap 에너지의 관점에서 보면 SrO가 차세대 보호막 재료로서 가장 적합한 특성을 가지는 것을 볼 수 있다.

그러나 탄산염의 분해 온도가 높기 때문에, 실제로 적

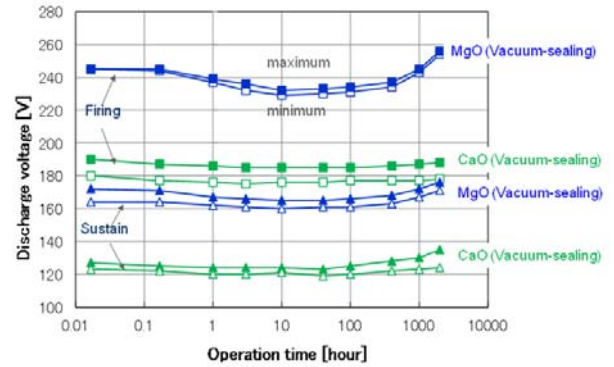
[표 1] 탄산염 형성 에너지 및 분해 온도

Compound	T _{decomp} °C	ΔH _f (kcal/mol)	Band gap energy (eV)
MgCO ₃ → MgO + CO ₂	540	27.9	7.8
CaCO ₃ → CaO + CO ₂	900	42.9	6.5
SrCO ₃ → SrO + CO ₂	1290	56.0	5.3
BaCO ₃ → BaO + CO ₂	1360	64.4	6.0

용하기 위해서는 수화물 또는 탄산염의 형성을 방지하는 것이 필수적이다. 이와 같은 수화물 및 탄산염의 형성은 대부분 봉착/배기 공정에서 주로 발생하기 때문에 이를 억제하기 위한 다양한 연구가 진행되어 왔다. 즉 봉착/배기 분위기를 진공 분위기 또는 불활성 또는 비활성 분위기로 유지하는 조건에서 봉착 배기 공정으로 패널을 제조하는 방법이다. [그림 10]은 진공 분위기에서 CaO를 증착, 봉착, 배기하여 제조된 패널의 특성을 나타내고 있다. 그림에서 보면, MgO에 비하여 CaO를 보호막으로 적용하였을 경우, 방전 전압이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 CaO가 MgO에 비하여 band gap 에너지가 작고, 이에 따라 2차 전자 방출 계수가 높기 때문에 나타나는 것이다.

이와 같은 진공 봉착/배기 공정, 불활성 분위기 봉착/배기 공정의 경우는 [그림 10]에서 나타난 바와 같이 CaO, SrO의 보호막에서 우수한 2차 전자 방출 계수를 나타내는 것으로 이론적이고 실험적으로 확인되었다. 이와 같은 우수한 특성을 가지고 있음에도 불구하고, 이 재료의 실제 적용이 곤란한 것은 박막 증착-운송-조립-봉착-배기 공정 모두를 조절된 분위기에서 수행하기 위해서 공정 비용 및 장치 투자비가 과도히 요구되기 때문이다.

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서 MgO-CaO의 복합 산화물을 차세대 보호막으로 적용하기 위한 연구가 그 동안 활발하게 진행되어 왔다. 이러한 재료의 선정은 CaO가 MgO를 제외하고, 알칼리 토금속 산화물중에서 가장 낮은 탄산염 분해 온도를 나타내고, MgO와의 합금을 통하여 band gap 에너지를 더욱 낮출 수 있는 여지가 있기 때문이다. 이 (Mg,Ca)O 보호막은 대부분의 특성이 차세대 보호막으로 요구되는 특성을 만족하나, 공정 과정에서 생성되는 수화물과 탄산염이 배기 과정에서 충실하

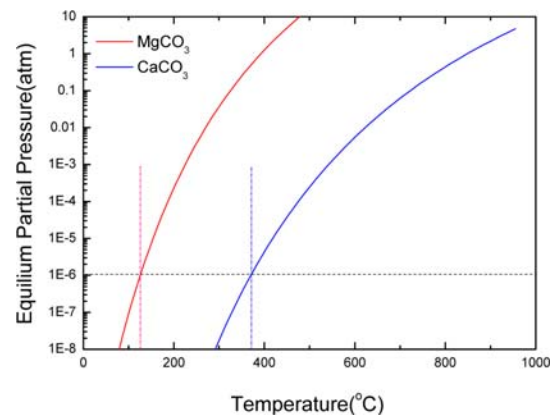


[그림 10] 진공 분위기에서 형성된 CaO의 방전 전압

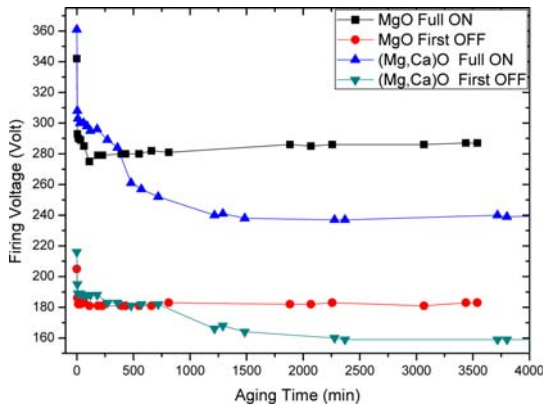
게 분해되어야 한다.

[그림 11]에 이론적으로 계산된 평형 분압 커브에서 볼 수 있듯이, Ca-탄산염의 경우에는 분해온도가 MgO에 비하여 약 150°C 이상 증가하는 것을 볼 수 있다. 따라서 MgO 박막에 비하여, (Mg,Ca)O 박막의 배기 온도를 적절하게 증가시켜, 탄산염의 분해를 충분하게 유도하는 것이 필수적임을 알 수 있다.

[그림 12]는 (Mg,Ca)O 보호막으로 제조된 패널을 MgO 패널에 비하여 배기 온도를 60°C 가량 증가시켜 제조된 패널의 방전 전압을 측정하여 나타낸 것이다. 그림에서 보면, 방전 개시 전압은 50V 정도 감소되고, 방전 유지 최소 전압은 약 20V 감소되는 것을 알 수 있다. 따라서 기존의 제조 공정을 적용하여서도 MgO 대비 2차 전자 방출 계수가 높은 보호막 재료가 가능성을 보여주는 결과라 하겠다⁶⁾.



[그림 11] CaO 탄산염의 이산화 탄소 가스의 평형 분해 분압



[그림 12] 고온 배기 공정을 통하여 제조된 (Mg,Ca)O 보호막의 방전 전압

IV. 요약

보호막으로서 우수한 성능을 발휘하여 왔던 MgO 박막을 대체하여, 고 Xe 방전 개스에서 방전 전압이 낮고, 높은 방전 효율을 나타낼 수 있는 차세대 보호막의 개발 현황에 대하여 간략하게 살펴보았다. 차세대 보호막은 1) FCC와 같은 등방성 결정 구조를 가져야 하고, 2) band gap 에너지가 작아야 하며, 3) 수화물 및 탄산염이 쉽게 분해되는 산화물이어야 하고, 4) 재료내에 비 화학 당량 결합이 많은 천이 금속 산화물과 같이 결합이 많아서는 되지 않아야 하고, 5) 이온간의 결합력이 커서 내 스퍼터링 특성이 우수하여야 하는 조건을 만족하여야 한다. 이러한 특성을 만족시킬 수 있는 것으로 다양한 재료가 개발되어 왔으나, 실용적으로 적용 가능성이 있는 것으로 (Mg,Ca)O 합금 보호막이 가능한 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] H. Uchiike, K. Miura, N. Nakayama, T. Shinoda, and Y. Fukushima, IEEE Trans. on Electron Devices, ED-23(11), p 1211(1976)
- [2] H. D. Hagstrum, Physical Review 96(2), pp336-365 (1954)
- [3] S.-H. Yoon and Y.-S. Kim, IMID'08 Technical Digest, pp953-956(2008).
- [4] Sang-Young Kim and Yong-Seog Kim, Technical Digest of IDW, pp 231-232(2011)

- [5] Sang-Hoon Yoon, Seok-Geun Ahn and Yong-Seog Kim, SID'09 Technical Digest, pp352-355(2009)
- [6] S.-Y Kim and Y.-S. Kim, SID Technial Digest, p153 (2012).

저자약력

김용석



- 1976년~1980년: 서울 대학교 금속 공학과 학사
- 1980년~1982년: KAIST 재료 공학과 석사
- 1985년~1989년: MIT 재료 공학과 박사
- 1991년~현재: 홍익대학교 신소재공학과 교수
- 관심분야: Plasma Display, 반사형 디스플레이, 디스플레이 재료