

증착방법에 따른 Al 피막의 증착율 및 증기분포 연구
Change of Deposition Rate and Vapor Distribution of Al Coatings
Prepared by Vacuum Evaporation and Arc-induced Ion Plating

정재인¹, 양지훈¹, 이경황², 박종원², 박영희³, 허규용³
¹포항산업과학연구원 융합공정연구본부 (*jijeong@rist.re.kr)
²포항산업과학연구원 울산산업기술연구소
³포항산업과학연구원 마그네슘연구단

초 록 : 진공증착 및 이온플레이팅 방법을 이용하여 냉간 압연된 강판상에 알루미늄 피막을 형성시킨 후, 증발을 및 증기분포 변화를 측정하고 각 증착방법에서의 증발율에 따른 증기분포 변화를 비교 및 검토하였다. 본 실험에서의 이온플레이팅은 증발원 근처에 이온화전극을 설치하는 방법으로 고전류 아크 방전을 유도하여 10⁻⁴ Torr 이하에서도 기존의 이온플레이팅에 비해 높은 이온화율을 얻을 수 있는 아크방전 유도형 이온플레이팅 (Arc-induced Ion Plating; AIMP) 방법을 이용하였다. 전자빔을 이용하면서 알루미늄 나 크루시블을 사용하여 알루미늄을 증발시킬 경우 분당 2.0 μm 이상의 높은 증발율을 얻을 수 있었으며, 이온플레이팅의 경우 이온화된 증기의 상호작용에 따른 산란 효과로 증발율이 다소 낮아짐을 알 수 있었다. cosⁿφ로 이루어지는 증기분포의 결정인자(n)의 값이 진공증착의 경우는 1에 근접하는 것으로 나타났고 AIMP의 경우는 2 또는 그보다 더 큰 값으로 이루어지는 것을 확인하였다. 이로부터 이온플레이팅의 경우 불활성 가스의 존재 여부와 이온화를 또는 기판 바이어스 전압의 효과가 다른 조건에 비해 증기분포에 더 크게 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

1. 서론

알루미늄 피막은 색상이 미려하고 대기중에서 부식에 의한 색상 변화가 다른 금속에 비해 작기 때문에, 화장품 케이스나 액세서리 등의 장식용 코팅은 물론 반도체의 도전막, 반사판 그리고 자성재료나 강판의 내식성 보호피막 등에 폭넓게 이용되고 있다. 알루미늄은 전기도금으로 코팅할 경우 그 효율이 낮아 생산성이 떨어지기 때문에 대부분 물리증착법을 이용하고 있다. 물리증착에는 크게 진공증착, 스퍼터링 그리고 이온플레이팅이 있으며 내식성 향상을 위한 목적의 경우에는 일반적으로 이온플레이팅 방법을 이용하고 있다. 이온플레이팅은 1963년 미국의 Mattox에 의해 개발된 물리증착 기술의 일종으로, 진공 분위기에서 증발된 증기를 플라즈마층내에서 이온화시켜 피증착물인 음극에 가속시켜 부착시키는 코팅 방식이다. 피증착물에는 증착 물질뿐만 아니라 가스, 이온 등도 함께 입사, 충돌하므로 코팅층의 치밀화 및 밀착력 향상 효과를 가져올 수 있다. 본 연구에서는 전자빔 증발원을 사용하는 진공증착 및 이온플레이팅에 의해 강판상에 알루미늄 피막을 형성시킨 후 증발을 및 증기분포를 실험적으로 구하고 이론적으로 계산한 그래프와의 비교를 통해 증기분포를 결정하는 구조인자를 결정하고자 하였다. 특히, 알루미늄 나 크루시블을 라이너로 이용하여 알루미늄을 고속으로 증발시킬 경우의 증착방법에 따른 증기분포를 구하였다. 본 연구에서 사용된 이온플레이팅은 부착량의 문제점을 해결하면서도 밀착성 및 내식성을 향상시킬 수 있는 아크방전형 이온플레이팅 (Arc-induced Ion Plating; AIMP) 방법을 이용하여 고진공에서의 이온플레이팅을 실현하였으며, 본 방법을 이용하여 알루미늄의 증발을 및 증기분포를 실험적으로 도출하였다. 또한, 이들 결과로부터 증착 시스템의 생산성을 향상시키기 위한 설계자료로의 활용은 물론 피증착체의 코팅층 두께의 균일성을 확보하기 위한 효율적인 코팅의 가능성을 제시하고자 하였다.

2. 본론

AIMP의 원리를 설명하기 위한 개략도를 그림 1에 나타내었다. 일반적으로 공업적인 용도의 경우 증착물의 증발면에서의 증기압은 0.1~1 Torr 정도가 된다. 증발원과 이온화전극사이의 공간에서의 압력분포는 2차곡선의 경향을 나타내며 증발원에서 멀어짐에 따라 압력은 낮아진다. 이렇게 증발물을 증발시키면서, 증발원 근처의 적당한 위치에 이온화전극 (ionization electrode)을 배치하고, 증발원에 대해 20~100 V의 양의 전압을 걸어주면 증발원에서 방출하는 열전자 혹은 2차전자가 이온화전극을 향해 이동하면서 증발입자와 충돌하게 되어 증발입자를 이온화시킨다. 즉, 그림 1에 나타낸 바와 같이 증발입자는 $M \rightarrow M^+ + e$ 라는 형태로 플라즈마 이온과 전자로 분리되는 것이다.

증발원으로부터 증발되는 증기의 증기분포 즉, 기판에서의 두께분포는 Hert 및 Mayer 등에 의해 이론 및 실험적으로 계산되었다. 그 후 새로운 형태의 증발원이 개발되면서 종종 증발을 및 증기분포에 대한 실험적인 데이터가 발표되기도 하였으나, 증기분포가 각종 증착변수에 민감하게 반응하여 달라지기 때문에 일관된 데이터를 이론적으로 계산한 논문은 그다지 발표되지 않았다. 본 논문에서는 Hert 등이 채택한 증발원 즉, 미소 영역 (small area) 또는 면증발원 (surface source)에 적용되는 증발 분포의 계산식을 사용하여 이를 이론적으로 고찰하고 이론적인 데이터와 실험값을 증착변수 및 증착방법을 달리하여 비교 및 검토하였다.

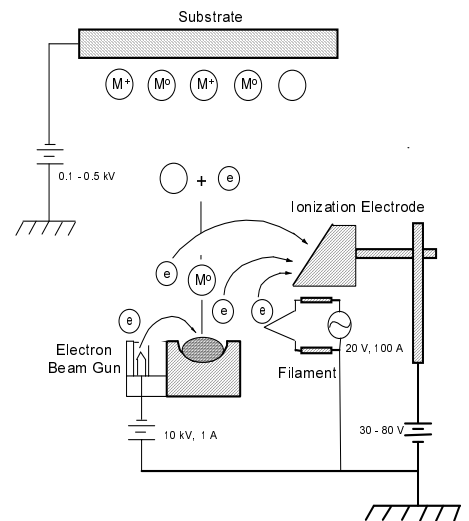


그림 1

증착에서의 증기의 각도 의존성은 일반화된 식을 사용할 경우 $\frac{dM_s}{dA_s} = \frac{M_c(n+1)\cos^n\phi\cos\theta}{2\pi r^2}$ 와 같은 식으로 이루어지며 여기서 dM_s 는 dA_s 에 도달하는 증발물의 질량이며 dA_s 는 미소면적을 나타내는 표면적이다.

M_c 는 증발물의 총질량이며, n 은 증착방법이나 증착기의 내부 구조와 관련되어 변화되는 인자로 결국 증기분포 즉, 기관에서의 두께분포를 결정하는 구조인자 (geometry factor)가 된다. 일반적으로 진공증착의 경우, n 은 대략 1~2에 가까운 값을 가지는 것으로 알려져 있으며, n 이 클수록 증기는 기관의 중앙 쪽으로 몰리게 되어 그 만큼 기관의 폭방향 두께 편차는 커지게 된다. 본 연구에서는 상기의 식을 이용하여 기관의 폭방향 두께를 측정하여 증기분포를 구하였으며, n 의 값을 변화시키면서 이론적으로 계산한 그래프와 실험데이터를 비교하여 최종적으로 n 의 값을 결정하였다.

알루미늄 피막의 제조는 실험용 이온플레이팅 장치를 이용하였으며 증발원으로는 10 kW 전자총을 사용하였고, 증발을 원활하게 하고 증발율을 증가시키기 위해 알루미늄이나 크루시블을 라이너로 사용하였다. 본 연구에서 사용한 기관은 가로, 세로가 각각 200 mm이고 두께가 0.8 mm인 도금용 냉연강판을 사용하였으며, 증착전 초음파 세척에 의해 충분히 탈지한 후 증착기내에서 글로우 방전에 의한 청정을 실시하여 표면 산화막을 제거하였다.

진공증착의 경우는 전자빔 증발원을 이용하여 다른 증착변수를 고정시키고 증발율만을 변화시켜 단순히 증발시킨 경우이며, AIPP의 경우는 이온화전극과 필라멘트를 이용하여 아크 방전을 유도한 후 기관에 바이어스 전압을 인가하여 실험을 수행하였다. 한편, AIPP의 경우는 이온화 효율을 높이기 위해 아르곤 가스를 10^4 Torr 정도 주입한 경우와 별도의 이온화용 가스를 주입하지 않은 경우를 각각 비교하였다. 증발원과 기관사이의 거리는 25 cm로 고정하였고, 기관 온도는 200 °C, 기관 바이어스 전압은 200 V로 유지하였으며, 증착두께는 20~40 μm 범위로 한정하였다.

증발율은 저속 증발에서부터 2.0 μm/min 이상의 고속 증발까지 변화시켰으며 증착방법에 따른 증발율의 변화를 관찰하였고, 증착 후 두께를 측정하여 증기분포를 결정하였다. 증착 두께의 측정은 XRF (X-ray Fluorescence)와 와전류식 두께 측정기를 사용하여 측정하였으며, 수정진동자를 이용하여 in-situ로 증발율을 측정하여 일정 두께의 피막을 형성하였다.

3. 결론

그림 2는 진공증착 및 AIPP에서의 전자빔 전력에 따른 증발율의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 AIPP (1)은 아르곤 가스를 주입한 경우이며, AIPP(2)는 아르곤 가스를 주입하지 않은 경우이다. 그림에서 보면 증착방법에 관계없이 비교적 낮은 전력임에도 불구하고 매우 높은 증발율을 나타냄을 알 수 있다. 아르곤 가스를 3×10^4 Torr 주입하여 AIPP 방법으로 증착한 경우가 가장 증발율이 낮게 나타나고 있는데, 이는 증발물이 가스에 의해 산란되어 나타나는 현상으로 해석할 수 있다. 또한, 가스를 주입하지 않고 AIPP로 증착한 경우에도 일반 증착에 비해 낮은 증발율을 보이는 것은 중성 원자에 비해 이온화된 원자 또는 분자들의 상호작용에 따른 산란 효과가 보다 크기 때문에 나타난 현상으로 설명할 수 있다.

그림 3은 각 증착방법의 두께를 평균하여 하나의 그래프로 나타낸 그림이다. 그림 3으로부터 진공증착의 경우에는 구조인자가 1에 근접하여 분포하고 있으며, AIPP의 경우는 2에 가깝게 나타나나 다만 가스를 주입하지 않은 경우가 구조인자의 값이 좀 더 크게 나타난다. 이는 아르곤 가스에 의한 증기의 산란으로 가스를 주입한 경우의 구조인자 값이 주입하지 않은 경우의 값에 비해 작게 나타난 것으로 판단된다.

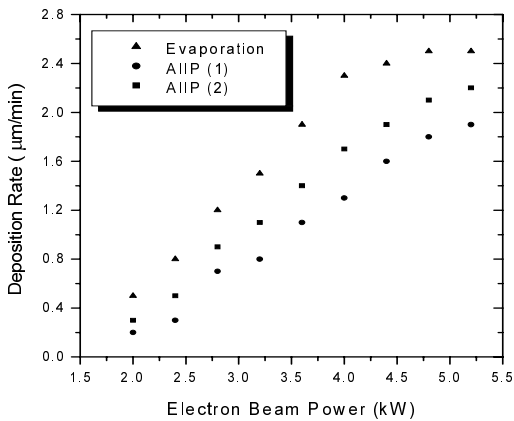


그림 2

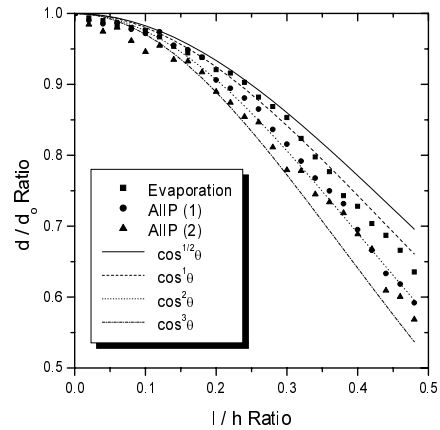


그림 3

결론적으로 알루미늄이나 크루시블을 라이너로 사용하여 알루미늄을 증발시킨 경우 낮은 전력에서도 분당 2.0 μm이상의 높은 증발율을 얻을 수 있었으며, 이온플레이팅의 경우 이온화된 증기의 상호작용에 따른 산란 효과로 증발율이 다소 낮아짐을 확인하였다. 증기분포의 경우 진공증착의 경우는 대체로 구조인자 값이 1에 근접하는 것으로 나타났으며, 이온플레이팅의 경우는 2 또는 그 보다 큰 값으로 나타남을 확인하였다.

참고문헌

1. L.I. Maissel and R. Glang, *Handbook of Thin Film Technology* (McGraw-Hill, New York, 1983)