

Ion Plating법에 의한 은(Ag) 박막의 표면특성과 부식거동

이 경 황 · 이 명 훈
한국해양대학교 부식방식공학연구소

Surface Properties of Silver Thin Films by Ion Plating and Their Corrosion Behavior

Kyung-Hwang Lee and Myeong-Hoon Lee

*Institute of Corrosion & Corrosion Control, Korea Maritime University,
Pusan 606-791, Korea,
leemh@hanara.kmaritime.ac.kr*

Silver thin films were prepared by ion plating process on the stainless steel 440C varying both argon gas pressure and bias voltage of processing condition. After the silver thin films were prepared, the influence of argon gas pressure and substrate bias voltage on their crystal orientation and morphology of the films were investigated by scanning electron microscopy(SEM) and x-ray diffractor respectively. And the corrosion behavior on silver film was estimated by measuring of anodic polarization curves in 0.5M Na₂S solution.

The morphology of films was decreased the crystal grain size with increasing argon gas pressure in processing condition. The crystal orientation of film at deposited 1.7×10^{-4} torr exhibited a (111) face preferred orientation, regardless of substrate bias voltages. On the other hand, the films at deposited 1.7×10^{-5} torr exhibited on the surface of film with preferred orientation (200) face.

As a result of anodic polarization, (200) preferred orientation of films showed low passive current density below the 0V/SCE potential. While the potential was over 0V/SCE, films of (111) preferred orientation showed better corrosion resistance, reversely.

Keywords : Ion plating, Crystal orientation, Morphology, Anodic polarization, Bias voltage

1. 서 론

산업 및 공업의 급격한 성장에 따라 여러 가지의 가혹한 환경에서 사용되는 기계 및 기구등의 사용은 점점 증가하고 있다. 따라서 최근에는 이들의 고내구성 및 장수명화에 기본이 되고 있는 내식성에

대한 요구가 더욱 더 절실해지고 있는 실정이다.

은은 열 및 전기전도성이 우수하고 내식성이 뛰어나기 때문에 전자부품, 장식부품, 식기 등에 이용되고 있다. 또한 이것은 기계적으로는 전단강도가 낮고, 은의 유동에 의한 전기 특성이 우수하여 진공용 베어링 및 관련 부품 등에도 널리 이용되고 있

다.¹⁾

반면 은은 각종 사용 환경 중 수분이나 오염성분이 많은 분위기에서는 변색이 되거나 다종다양한 부식생성물을 형성하여 그 고유의 특성을 잃게 되는 문제가 발생한다. 즉, 은의 부식생성물로서 Ag_2S , $AgCl$ 및 Ag_2O , $AgNO_3$, Ag_2SO_4 , $AgCO_3$ 등이 있는 것으로 알려져 있다.^{2,3)} 특히, 황성분이 약간이라도 존재하는 분위기에서는 은이 Ag_2S 의 황화물을 형성하면서 심각하게 취약화되는 것으로 보고하고 있다.⁴⁾

한편, 일반적으로 재료의 물리적 또는 화학적 특성은 그 물질의 고유성분에 의해 결정된다. 그러나 동일 물질의 재료라 할지라도 제작 방법 또는 조건에 따라 그 특성이 달라지는 일도 얼마든지 있다. 그것은 재료의 특성이 그 물질의 분자적 성질은 물론 그 재료 표면의 결정학적 혹은 기하학적 구조에도 크게 영향을 받기 때문이다.

따라서, 본 연구에서는 은 재료표면의 결정학적 또는 기하학적 구조차이에 따른 부식거동과의 상관관계를 살펴보기로써 은막 제작 설계에 기초적인 지침을 제공하고자 하였다. 즉, 여기서는 ion plating법에 의해 여러 가지 은 박막을 제작하였다. 또한, 증착조건에 따라 제작한 은 박막들의 조직이나 결정배향성이 변화하는 형성 메카니즘을 파악함은 물론 이들막의 변화가 내식특성에 미치는 상관관계를 고찰하여 보았다.

2. 실험 방법

2.1 은 박막의 제작

본 실험에서 은 코팅막을 제작하기 위해 사용된 것은 전자빔(e-beam)을 이용하여 증발원을 증발시키며, positive probe에 의해 플라즈마를 집속-활성화시키는 ion plating방식이다.

은 코팅막 제작을 위해 이용된 기관의 재료는 두께 5mm의 열처리된 마르텐사이트계 STS 440C를 이용하였다. 각각의 모든 시험편은 표면연마를 #100, #600, #800, #1000의 SiC 연마지를 이용하여 순차적으로 연마한 후 diamond paste를 이용한 경면연마를 시행하였다(평균조도 $Ra=0.013\mu m$).

준비된 시험편들은 알칼리 탈지유, 아세톤, 알콜에 순차적으로 초음파 세정을 하고 진공용기에 장입시킨 후, 진공용기를 밀폐하고 3×10^{-6} torr까지 배기하였다. 그 후 아르곤 가스를 도입하여 ion bombardment cleaning을 실시하였다. Ion bombardment cleaning이 끝나면, 각각의 증착 조건에 따라 바이어스 전압과 작업 진공도를 설정하고 증착을 시작하였다. Table 1에 은 박막의 제작조건을 보이고 있다.

Table. 1 Deposition conditions of Silver films

| Condition Substrate | Vacuum (torr) | Bias Voltage (V) | Positive probe(V) | E-Beam Current(A) | Deposition thickness (μm) |
|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|--|
| STS 440C | 1.2×10^{-5} | -0 | + 250 | 0.055 | 1.5 ± 0.5 |
| | | -300 | | | |
| | 1.7×10^{-4} | -500 | | | |
| | | -700 | | | |
| | | -800 | | | |
| | | -300 | | | |
| | | -500 | | | |
| | | -700 | | | |
| | 1.7×10^{-5} | -700 | | | |
| | | -900 | | | |

2.2 은 박막의 구조분석

박막의 표면 및 단면의 조직 관찰은 주사형 전자현미경(SEM)과 전계방사형 전자현미경(FESEM)으로 관찰하였다. 단면 조직은 일반 SEM을 이용하여 관찰하였고, 표면 조직은 고배율에서도 휘도가 높고 분해능이 뛰어난 FESEM을 각각 이용하여 관찰하였다.

박막의 결정구조를 해석하고, 결정배향성을 조사하기 위해 2θ Scan X선 회절장치를 이용하였다. 이때 2θ 의 범위는 30° 에서 70° 로 설정하여 측정하였다.

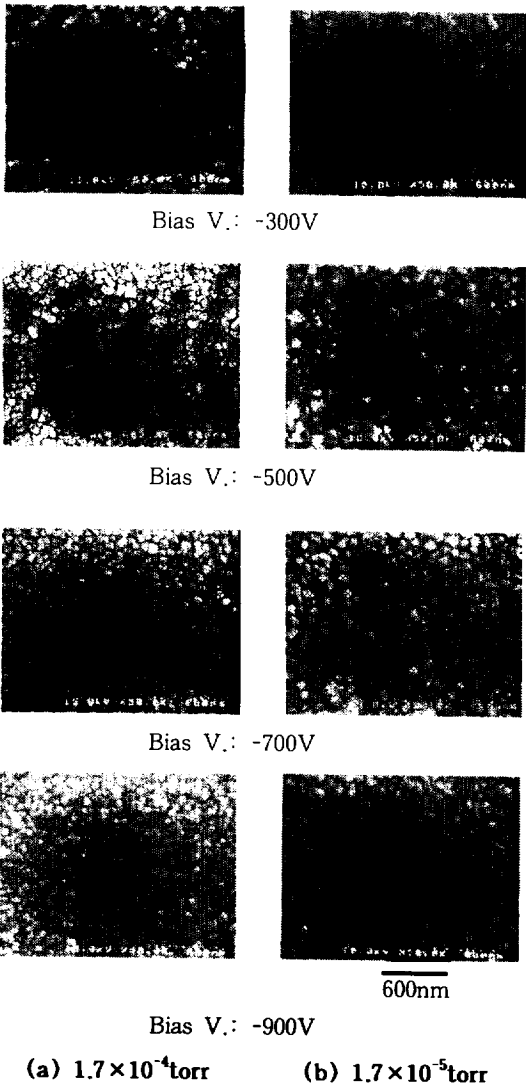
2.3 은 박막의 특성 평가

일반적으로 은의 실용 환경은 대기중인 경우가 많으며, 사용중 대기에 함유된 이온, 산소와 수분에 의해 영향을 받아 탈색 및 고유 특성을 잃게 된다. 본 연구에서는 증착조건에 따라 제작된 은 박막이 황이온이 존재하는 분위기 하에서 제작조건에 따라 제작된 박막에 가속시험을 통하여 상대적인 전기화

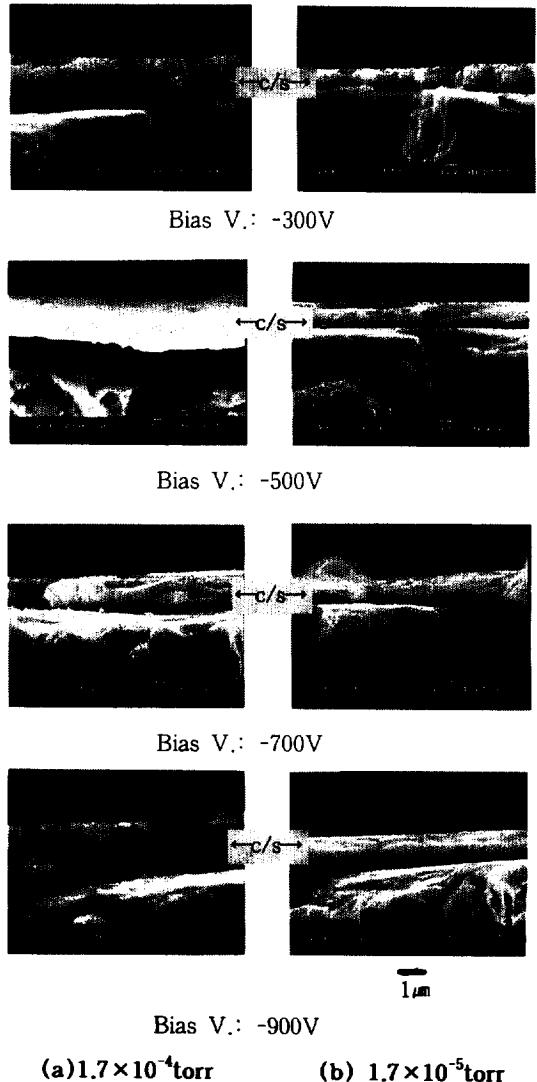
학적 특성을 살펴보기 위해 정전위법을 이용하여 양분극시험을 행하였다. 실험용액은 pH 13의 알칼리 수용액인 0.5M Na₂S 용액으로 산소의 영향이 미치는 범위에서 은 박막의 내식성 평가를 위해 탈기하지 않은 상태로 이용되었으며, scan rate는 2.5mV/Sec로 각각의 시험편에 대하여 최종전위 2.0V/SCE까지 양분극 곡선을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

일반적으로 ion plating 공정시 박막의 조직에 영향을 미치는 주요변수로는 크게 기판의 온도, 진공도, 바이어스 전압 및 증착속도 등이 있다.⁵⁾ 본 연구에서는 진공도의 변화를 중심으로 생성막의 조직 및 결정배향성에 대한 분석과 전기화학적 분극측정을 하여 부식거동을 평가하였다.



(a) 1.7×10^{-4} torr (b) 1.7×10^{-5} torr
 Fig. 1. SEM photographs of top surface for Ag films on the substrate of STS 440C.



(a) 1.7×10^{-4} torr (b) 1.7×10^{-5} torr
 Fig. 2. SEM photographs of cross section for Ag films on the substrate of STS 440C (c/s: cross section).

3.1 은 박막의 조직 관찰

Fig. 1은 두 진공도에서 각각의 바이어스 전압에 따른 표면 조직을 보여준다. 1.7×10^{-4} torr에서 제작된 막 표면 조직이 1.7×10^{-5} torr에서 제작된 막보다 모든 바이어스 전압의 경우 결정립이 미립화된 경향을 나타내며, 표면의 결정립의 크기도 균일하고, 막표면의 굴곡이 적고 좋은 것으로 보인다. 이것은 증착 중 기관 막표면 주위에 미비하지만, 상대적으로 많이 존재하는 아르곤 가스의 흡착에 의해 전해이 계속해서 증착되어 성장하기보다는 또 다른 핵의 생성이 용이하게 되면서 결정립 크기가 작아지는 것으로 생각된다.^{6,7)} 또한, 두 진공도에서 모두 결정립이 작아진 것은 박막의 증착 시 증발원의 전자빔(e-beam) 전류를 올려 증착했기 때문에 증착속도가 증가되어 증착되는 막 중에서 핵의 성장이 진행되기 전에 다른 핵의 증착으로 결정립이 미립화된 것으로 생각된다.⁵⁾

Fig. 2는 1.7×10^{-4} torr과 1.7×10^{-5} torr에서 제작된 은 박막에 대한 단면 조직을 보이고 있다. 모든 단면 조직에서 구분하기 어려울 정도로 조직이 치밀하게 형성된 것을 볼 수 있다. 막 두께를 $1.5 \pm 0.5 \mu\text{m}$ 로 일정하게 증착을 시도하였지만, 막의 두께는 상대적인 가스량의 증가에 비례적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 이것은 진공도의 차이에 의해 진공용기 내에 존재하는 입자와 이온들 각각이 갖는 총합 에너지적 관점으로 생각한다면, 진공용기 내의 분위기 압력이 고진공으로 갈수록 입자 및 이온들의 평균자유행정은 길어지게 되며 기관에 입사되는 입자 및 이온들의 에너지는 증가하게 된다. 이때 증가된 입자 및 이온들의 입사 에너지에 의해 다른 금속에 비교하여 스퍼터율이 높은 은의 경우는 re-sputter 혹은 re-evaporation의 확률이 증가하게 된다. 따라서 상대적으로 가스의 공급이 없는 진공도가 높은 1.7×10^{-5} torr에서는 막의 두께가 감소되며, 또한 기관과 수직하게 성장하는 막 표면은 큰 에너지를 갖고 입사되는 입자 및 이온들에 의해 기관과 수평방향으로 원자들을 배열시켜 원자의 가장 안정한 자리로 이동시킨다. 이러한 영향들에 의해 막의 두께가 감소하는 경향을 나타낸 것으로 사료된다.

3.2 은 박막의 결정배향성

은 박막의 결정면 표면에너지 값의 상대값을 통한 결정성장면 및 결정배향성 관계에 대하여 관찰하고, 표면 및 단면 조직과의 상관관계에 대하여 고찰하면 다음과 같다.

면심입방격자구조(FCC)를 갖는 은 박막에 대한 각 결정면의 표면에너지 값을 계산식에 의해 구한 상대값은 Table 2에 보인다.⁸⁾ Table 2는 표면에너지 값이 가장 낮은 (111)면을 1로 보았을 때 (200), (220) 결정면의 순으로 표면에너지 값이 높은 것을 알 수 있다. 구조적으로 나타내기 힘든 (220)면을 제외하고 표면에너지가 낮은 (111)면과 다소 높은 (200)면을 중심으로 고찰하면, 다음과 같이 생각된다.

Table. 2 Relative values of surface free energy of Silver

| Crystal plane | (111) | (200) | (220) |
|----------------|-------|-------|-------|
| Relative value | 1,000 | 1,154 | 1,223 |

Fig. 3은 각각의 진공도 (A) 1.7×10^{-4} torr와 (B) 1.7×10^{-5} torr에서 제작된 막들에 대한 XRD pattern의 상대회절강도 값 그래프를 나타낸다. 조직의 관찰에서 살펴보았던 것과 같이 증착속도의 증가 때문에 가스의 흡착에 의한 영향은 미비하게 되고, 개개의 입자 및 이온들이 갖는 총합 에너지에 의한 영향이 지배적으로 막의 형성에 영향을 미치는 것으로 생각된다. 진공도 1.7×10^{-4} torr의 경우는 아르곤 가스가 소량 공급되었으며, 1.7×10^{-5} torr의 경우는 가스의 공급이 거의 없었다. 두 진공도 내에서 존재하는 개개의 입자 및 이온들에 주어지는 총합 에너지는 진공도가 상대적으로 높은 (가스량이 적은) 1.7×10^{-5} torr에서 크게 된다. Fig. 4는 결정면배향의 변화를 도식적으로 나타내고 있다. (A)의 경우는 1.7×10^{-4} torr의 경우를 나타내고 있고, (B)는 1.7×10^{-5} torr를 도식적으로 보여주고 있다. 이 경우 결정면에서 표면자유에너지가 큰 결정면과 이보다 작은 결정면의 두면을 고찰하면, 처음 입사되는 이온 및 입자들은 표면 에너지가 상대적으로 큰 (200)면에 원자의 공급이 매우 활발하게 진행되며, 이때 표면에너지가 큰 결정면에 증착된 원자들은

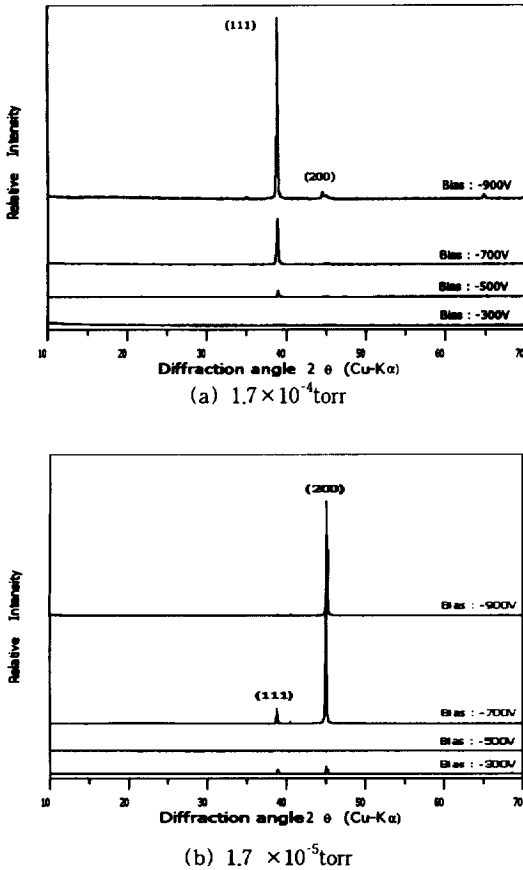


Fig. 3. X-ray diffraction patterns of Ag films deposited at various deposition conditions.

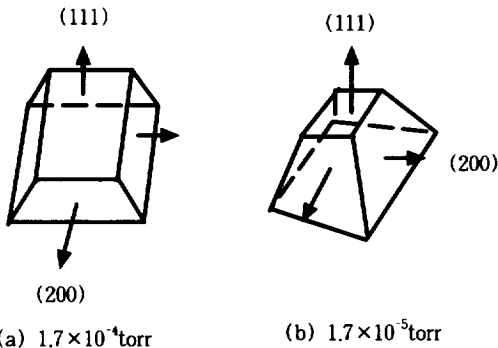


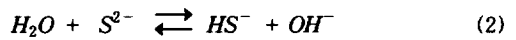
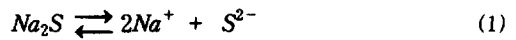
Fig. 4. Schematic diagram of growth change on crystal orientation of Ag films.

입사되는 또 다른 큰 입사에너지를 갖는 이온 및 원자들의 충돌에 의해 resputter 혹은 re-evapora-

tion이 더욱 증가하게 된다. 이것은 표면 에너지가 상대적으로 낮은 (111)면에 원자의 공급을 증가시키고 (111)면의 성장을 빠르게 한다. 따라서 두 결정면에서 (111)면의 성장으로 인해 표면에 노출되는 결정면은 (200)면의 면적점유율을 증가시켜 결국 1.7×10^{-5} torr에서 제작된 막들은 (200)면에서 X선 회절 피크의 상대강도가 강하게 되고 (200) 결정면이 우선 배향되는 것으로 추정된다. 반면, 1.7×10^{-4} torr에서는 표면에너지가 상대적으로 큰 (200)면의 원활한 원자공급과 함께 resputter 혹은 re-evaporation의 확률이 감소되어 표면에너지가 작은 (111)면의 원자공급이 적어져 (200)면의 성장이 촉진된다. 이것은 앞서 설명한 것과 같이 표면에서의 (111)면의 면적점유율을 증가시키게 되어 회절 강도를 강하게 한다. 따라서, 1.7×10^{-4} torr에서는 (111)결정면이 1.7×10^{-5} torr에서는 (200) 결정면이 우선 배향된 것으로 사료된다.

3.3 은 박막의 전기화학적 분극 거동

일반적으로 은은 대기 중에 존재하는 황, 염소 등과 같은 이온 또는 산소나 수분이 존재하는 분위기에서 다양한 은 화합물을 형성하면서 변색 또는 열화부식되는 문제를 갖게 되는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서는 ion plating법에 의해 제작한 여러 가지 은 박막에 대한 상대적인 부식거동 평가를 위해 은 금속과 반응속도가 가장 빠르고 친화력이 강한 황이온이 존재하는 알칼리 수용액 0.5M Na_2S (pH 13) 중에서 탈기하지 않은 상태로 양극분극을 측정하였다. Fig. 5~8은 각각의 바이어스 전압에서 진공도 1.7×10^{-4} torr와 1.7×10^{-5} torr에서 제작한 시편에 대한 양극분극 측정곡선을 나타내고 있다. 이들 박막에 대한 전기화학적 분극거동을 살펴보면 다음과 같이 생각된다. 우선 Na_2S 시험용액은 다음의 (1)식과 (2)식에서 보이는 것과 같이 해리하는 것으로 생각할 수 있다.⁴⁾



이때, 은 박막 시험편은 양극분극을 시킴에 따라

(3)식과 같은 반응을 유도하게 된다.



즉, 이들 은 박막에 대한 분극곡선의 공통적인 거동 특성은 초기에는 양극분극에 의해 전류밀도가 증가하는 활성태(Activity)를 보이다가 급격히 전류밀도가 감소하면서 부동태화 경향을 나타내고 있다. 이것은 양극분극이 진행됨에 따라 초기에는 반응식 (3)에 의해 은 표면으로부터 Ag^+ 이 활성적으로 용해 부식되어서 임계전류밀도(Critical Current Density)가 큰 활성태를 나타낸 것이다. 또한, 일정전위의 분극시점에서 부동태화하게 된 것은 (1)식에서 보인바와 같이 용액 중 존재하는 S^{2-} 이온이 초기에 활성적으로 은 박막 표면에서 용출하는 Ag^+ 과 우선적으로 반응하여 생성된 Ag_2S 화합물에 의한 것으로 생각된다. 즉, 은 박막 표면에 Ag_2S 를 중심으로한 부식생성물이 덮이게 되므로 인해 은 박막으로부터 용액으로의 Ag^+ 의 용출을 억제시켜 부식전류밀도를 감소시키는 부동태화 거동을 갖는 것으로 생각된다. 그 후 이 부동태 영역에서 부식전류밀도의 증가와 감소를 반복하는 것은 부식생성물의 파괴와 재생이 반복되어 결국 점진적으로 부식속도가 증가하는 경향을 갖는 것으로 사료된다. 바이어스 전압이 -300V로 제작된 막의 경우 Fig. 5와 같이 은 박막들은 부식생성물에 의한 부식전류밀도의 감소 거동을 보이고 있으며 부식전

류밀도는 1.7×10^{-4} torr에서 제작된 막보다 1.7×10^{-5} torr에서 제작된 막의 경우가 낮은 것을 알 수 있다. 반면, 전위가 0V/SCE 이상에서는 모든 바이어스 전압에서 1.7×10^{-4} torr의 진공도에서 형성된 막의 경우가 다소 부식전류밀도가 낮게 나타나는 것을 관찰 할 수 있었다. 이들 막들의 부식거동의 차이를 결정구조 및 조직의 관점에서 좀더 구체적으로 고찰하여 본다면, 다음과 같이 생각된다.

막 표면에서의 결정배향면이 표면자유에너지가 상대적으로 큰 (200) 결정면이 (111) 결정면에 비하여 표면에서 화학적으로 불안정하게 된다. FCC 구조가 갖는 각각의 결정면을 잘랐을 경우를 생각하면, 이때 원자의 면밀도는 (200)면이 크게 되며, 원자와 원자간의 결합되는 부분의 수는 (200)면이 많은 것으로 이해할 수 있다. 원자와 원자가 결합되는 결합 부분은 결정입계와 마찬가지로 화학적으로 활성이 되어 양극으로 작용하여 전위차를 발생시켜 Micro cell을 형성하게 된다.¹²⁾ 이 경우 원자의 결합 부분이 많은 (200) 결정면은 (111) 결정면보다 활성적으로 용해되면서 부식생성물의 형성을 상대적으로 더욱 치밀하게 형성하는 것으로 생각된다. 따라서 표면의 결정입이 작은 것일수록 즉, 일정단위 면적당 차지하는 입계면적이 큰 것일수록 양극인 입계를 중심으로 활성적으로 용해되면서 부식생성물에 의한 피막을 상대적으로 치밀하게 형성하는 것으로 생각된다. 또한, 미시적으로도 표면의 결정면의 표면자유에너지가 큰 것일수록 입계와 마찬가지로 일정 단위 면적당 차지하는 원자간 결합수가 크게 되므로 상대적으로 부식생성물의 형성을 용이하게 하는 것으로 생각된다. 그러므로, 초기 부식생성물에 의한 피막의 형성은 1.7×10^{-5} torr에서 제작된 (200) 결정면이 우선 배향된 은 박막에서 부식전류밀도값이 낮은 부식생성물에 의한 피막을 형성하게 된다. 그러나, 전위값이 0V/SCE 이상에서는 부식전류밀도가 증가되는 경향을 취하고 있다. 이것은 양분극의 진행에 따라 Ag^+ 이온이 모재로부터 용해되는 과정 중 용액중의 S^{2-} 이온과 결합하기 위해 부식생성물에 의한 피막을 통과하여 Ag_2S 를 형성하게 된다. 이때 Ag^+ 이온에 의해 파괴된 부식생성물 피막의 회복능력이 1.7×10^{-4} torr에서 제작된 막에 비해 다소 떨어지기 때문이라고 생각된다.

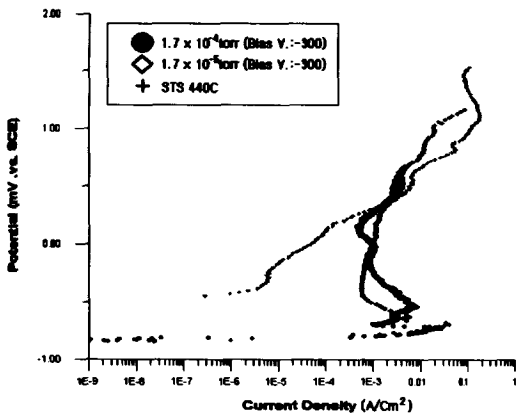


Fig. 5. Anodic polarization curves of Ag films prepared at -300V bias voltage in 0.5M Na_2S solution.

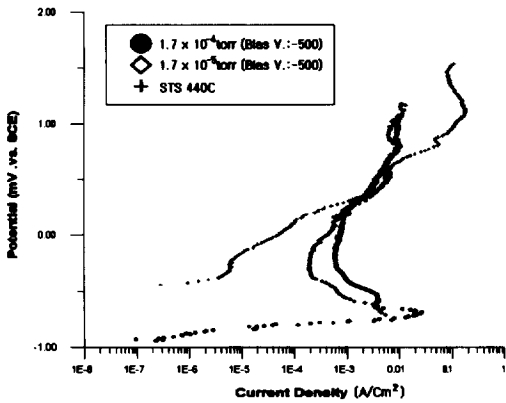


Fig. 6. Anodic polarization curves of Ag films prepared at -500V bias voltage in 0.5M Na₂S solution.

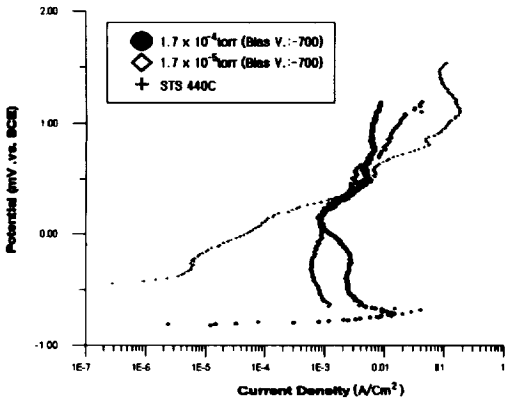


Fig. 7. Anodic polarization curves of Ag films prepared at -700V bias voltage in 0.5M Na₂S solution.

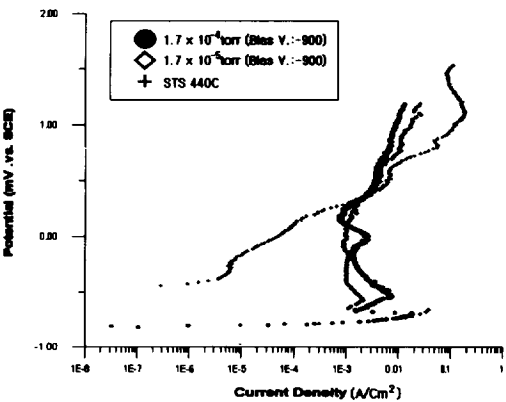
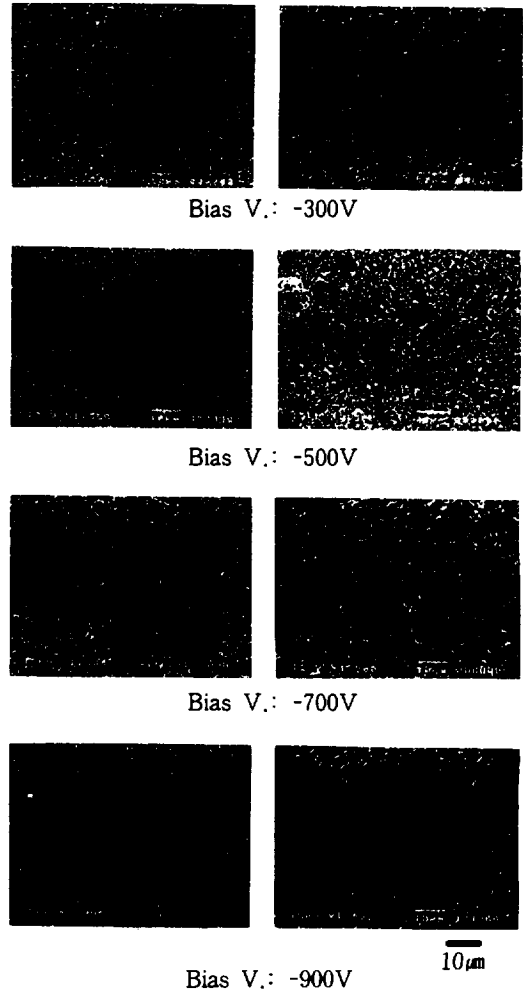


Fig. 8. Anodic polarization curves of Ag films prepared at -900V bias voltage in 0.5M Na₂S solution.

이러한 경향은 Fig. 6에서 Fig. 8의 바이어스 전압이 -500V, -700V, -900V인 경우에서도 비슷한 결과를 나타내고 있다. 이와 같이 Na₂S 용액에서는 박막은 부식생성물에 의한 피막의 형성정도에 의해 부식거동이 변화되고 있다. 초기 부식생성물 피막을 형성하는 1.7×10⁻⁵torr에서 제작된 막들은 표면에서 결정배향성이 (200) 결정면이 우선 배향된 결과에 기인된 것으로 생각된다. 전위 0V/SCE 이상에서 부식전류밀도가 1.7×10⁻⁴torr에서 제작된 막에 비하여 1.7×10⁻⁵torr에서 제작된 막들에서 커



(a) 1.7×10⁻⁴torr (b) 1.7×10⁻⁵torr
Fig. 9. SEM micrographs of Ag thin films after anodic polarization in 0.5M Na₂S solution.

지는 현상을 보이고 있다. 이것은 Fig. 1의 SEM 사진을 통하여 살펴본 것과 같이 표면입자들의 크기가 불균일하기 때문에 표면의 부식생성물 피막이 상대적으로 치밀하지 않아 Ag^+ 이온이 부식생성물 피막과 용액사이의 피막을 통과하여 용액중의 S^- 이온과 화학적 결합을 위해 표면의 피막을 통과하기 쉽기 때문으로 생각된다.

Fig. 9는 양극분극 후 표면 SEM 사진을 보여준다. 모든 은 박막들에 대하여 육각 판상형의 부식생성물⁴⁾인 Ag_2S (Acanthite)를 원소조성분석(EDS)과 X선 회절을 통하여 확인 할 수 있었다. 또한, 본 실험의 Na_2S 수용액 중에서 양극반응에 따른 분극거동은 결정입의 크기와 결정배향성에 의해 지배되는 것으로 사료된다.

4. 결 론

Ion plating법에 의해 제작된 은 박막의 표면 및 단면 조직 변화와 결정배향성과의 상관관계에 대하여 분석을 행하였다. 또한, 이들 막의 전기화학적 양극분극 거동에 대하여 평가한 것을 종합적으로 요약하면 다음과 같다.

1. Ion plating법을 이용하여 은 박막을 증착하는 경우, 증착변수 중 가스압의 증가에 따라 결정립의 조직은 작아지는 경향을 보였다. 이것은 가스의 흡착인hibit에 의해 핵성장이 억제되고, 핵의 생성이 촉진된 결과로 이해된다.

2. 증착 중 가스량의 증가에 따라 X선 회절 강도의 상대값의 변화는 이온 및 입자들의 입사에너지가 증가된 경우 표면에너지가 높은 (200)면에 공급된 원자들의 재증발율이 증가되어 표면에너지가 낮은 (111) 결정면에서 빠른 핵성장이 이루어져 (200)면이 우선적 배향이 일어나는 것을 볼 수 있었다.

3. 은의 경우 표면의 결정입이 작은 것일수록 즉, 일정단위 면적당 차지하는 입계면적이 큰 것일수록 양극으로 작용하는 입계를 중심으로 활성적으로 용해되면서 상대적으로 치밀한 부식생성물에 의한 피막을 형성하게 되는 것으로 생각된다. 또한, 결정면의 표면자유에너지가 작은 것에 비해 큰 것일수록 입계와 마찬가지로 일정단위 면적당 차지하는 원자와 원자간 결합수가 많게 되므로 상대적으로 부식

생성물에 의한 피막형성을 용이하게 하는 것으로 생각된다.

4. 전기화학적 분극측정 결과, (200) 결정면이 배향된 1.7×10^{-5} torr에서 제작된 막의 경우가 활성적인 화학적 작용에 의해 낮은 부식전류밀도를 나타내었다. 반면에 전위가 약 0V/SCE 이상에서는 1.7×10^{-4} torr에서 제작된 막에 비해 부식전류밀도가 상승하고 있었다. 이것은 막표면의 조직이 균일하지 않아 부식생성물에 의한 피막의 파괴가 용이하게 되는 영향을 한 것으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 1999년 FAG-HANWHA 베어링 R&D 센터의 위탁연구지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. The Materials Information Society, ASM Handbook, 10th Edition, Vol. 2, p. 699 (1990)
2. T. E. Graedel, *J. Electrochem. Soc.*, **139**, 1963 (1992)
3. S. P. Sharma, *J. Electrochem. Soc.*, **125**, 2005 (1987)
4. M. Nakata, M. Osawa, N. Shikazno, H. Honma and N. Tsukamoto, *J. of the Surface Finishing Soc. of Japan*, **45**, 98 (1994)
5. Maissel and Reinhard, Handbook of Thin Film Technology, McGraw-Hill, Chap. 8, New York.
6. Y. Hasegawa, M. H. Lee and T. Oki, *J. of the Surface Finishing Soc. of Japan*, **44** (2), 131 (1994)
7. D. D. Wang and T. Oki, *J. Vac. Sci. Technol.* A.8, 3163 (1990)
8. G. Carter and D. G. Armour, *Thin Solid Films*, **80**, 13 (1981)
9. M. H. Lee, T. Kozuka and T. Oki, *J. of the Surface Finishing Soc. of Japan*, **45**, 636, (1994)