

## 전기도금법으로 제조한 Ni 박막과 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막의 기계적 성질

전성우<sup>1</sup> · 원혜진<sup>1</sup> · 이광용<sup>1</sup> · 이재호<sup>1</sup> · 변지영<sup>2</sup> · 오태성<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>홍익대학교 신소재공학과

<sup>2</sup>한국과학기술연구원 금속공정연구센터

### Mechanical Properties of Ni Films and Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composite Films Fabricated by Electroplating

S. W. Jun<sup>1</sup>, K. Y. Lee<sup>1</sup>, H. J. Won<sup>1</sup>, J. H. Lee<sup>1</sup>, J. Y. Byun<sup>2</sup>, and T. S. Oh<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Materials Science and Engineering, Hongik University, Seoul 121-791

<sup>2</sup>Center for Materials Processing, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 138-791

**초 록:** 도금전류밀도에 따른 Ni 박막과 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막의 항복강도, 파괴 연신율 및 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막내 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함유량을 분석하였다. 5~20 mA/cm<sup>2</sup>로 형성한 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 내 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함유량은 11.48~11.64 vol%로 거의 일정하였으나, 도금전류밀도가 30 mA/cm<sup>2</sup>로 증가함에 따라 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함유량이 8.41 vol%로 감소하였다. Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막은 모두 Ni 박막보다 높은 항복강도를 나타내었으며, 특히 5 mA/cm<sup>2</sup>로 도금한 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 항복강도는 Ni에 비해 50% 증가하였다. 도금전류밀도가 증가함에 따라 Ni 박막과 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막의 파괴 연신율이 감소하였다. 5 mA/cm<sup>2</sup>에서 도금한 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막이 다른 전류 밀도에서 형성한 복합박막에 비해 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 균일하게 분산되어 있으며 가장 높은 항복강도와 파괴 연신율을 나타내었다.

**Abstract:** Characteristics of electroplated Ni films and Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite films, such as yield strength, fracture elongation, and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content, were evaluated as a function of electroplating current density. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content was 11.48~11.64 vol% for Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite films electroplated at 5~20 mA/cm<sup>2</sup>, and decreased to 8.41 vol% at 30 mA/cm<sup>2</sup>. Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> possessed yield strengths higher than those of Ni films. Especially, Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fabricated at 5 mA/cm<sup>2</sup> exhibited 50% improved yield strength. Fracture elongations of Ni and Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> decreased with increasing the electroplating current density. Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> electroplated at 5 mA/cm<sup>2</sup> exhibited more uniform dispersion of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and higher yield strength and larger fracture elongation than the composite films processed at other current densities.

**Keywords:** Electroplating, Ni film, Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> film, Composite coating, Mechanical properties

### 1. 서 론

Ni 도금은 색깔이 우수하고 비교적 변색이 안되며 기계적 성질도 비교적 우수하기 때문에 이전부터 방식이나 장식의 목적으로 철강이나 구리 합금의 표면 코팅으로 사용되어 왔으며, 각종 금속 표

면에 크롬도금을 하기 위한 하지도금 층으로 널리 사용되고 있다.<sup>1)</sup> 이와 더불어 최근에는 Ni 도금박막을 무연솔더의 플립칩 본딩을 위한 UBM (Under Bump Metallurgy) 층으로 사용하기 위한 연구가 진행되고 있다.<sup>2,3)</sup> 전기도금공정으로 형성한 Ni 박막은 전기비저항이 낮고, 도금이 치밀하

\*Corresponding author  
E-mail: ohts@hongik.ac.kr

여 솔더 반응에 대한 확산장벽층으로서의 특성이 우수하며 내부응력이 낮아 파괴가 잘 발생하지 않으며, 미세파괴를 갖는 플립칩 구조에 적용이 가능하다는 장점이 있다.<sup>2,3)</sup>

또한 금속도금 층의 기계적 성질을 향상시키기 위해 주로 Ni이나 Co 기지 내에  $Al_2O_3$ , SiC 등과 같은 세라믹 입자들이 함유된 복합박막이 개발되고 있다.<sup>4,7)</sup> 이와 같은 복합박막을 형성할 수 있는 여러 방법들 중에서 전기도금법이 가장 간단하고 경제적인 방법으로서, 전해질 용액 내에 부유되어 있는 세라믹 입자들이 Ni 전기도금시 co-electrodeposition 되는 것이다.<sup>4,5)</sup> Ni 복합박막에 co-deposition 할 수 있는 세라믹 입자로는  $Al_2O_3$ , SiC, WC,  $TiO_2$  등을 들 수 있으며, 이중  $Al_2O_3$ 는 가격이 저렴하며 화학적 안정성이 우수하고 경도가 높고 고온 내마모성이 우수한 장점을 지니고 있어<sup>6)</sup> Ni 복합박막을 형성하기 위한 세라믹 입자로서 가장 적합한 재료 중의 하나이다.<sup>6)</sup>

본 연구에서는 Ni-세라믹 복합박막의 제조공정을 개발하기 위한 기초연구로서 전기도금법을 이용하여 Ni 박막과 Ni- $Al_2O_3$  복합박막을 형성 후 도금전류밀도에 따른 항복강도, 파괴연신율 및 Ni- $Al_2O_3$  복합박막내  $Al_2O_3$  함유량을 분석하였다.

## 2. 실험방법

Ni 박막과 Ni- $Al_2O_3$  복합박막을 형성하기 위한 기판으로는 필름 형태로 완전히 curing된 25  $\mu m$  두께의 biphenyl tetracarboxylic phenylene diamine (BPDA-PDA) 폴리이미드 (Ube의 Upilex-S) 필름을 1 cm $\times$ 5 cm 크기로 잘라서 사용하였다. BPDA-PDA 폴리이미드 표면에 Cu/Cr 전기도금 씨앗층을 스퍼터 증착하기 전에 폴리이미드 필름을 에탄올 및 증류수로 세척한 다음 150°C의 오븐에 넣고 48시간 이상 유지시켜 폴리이미드 필름에 흡착된 수분을 제거하였다. 폴리이미드 필름을 스퍼터 챔버 내의 기판 홀더에 장착하여 10<sup>-6</sup> torr 이하로 진공을 뽑은 후, 폴리이미드 필름과 접착층인 Ti 박막 사이의 계면 반응성을 향상시키기 위하여 폴리이미드 표면을 Ar 가스를 사용하여 0.14 W/cm<sup>2</sup>의 power 밀도로 3분간 RF 스퍼터링 처리하였다. 이때 RF 플라즈마 노출에 의한 폴리이미드 필름의 온도 상승을 방지하기 위하여 기판 홀더를 수냉하

였다. 이후 폴리이미드 기판에 접착층인 Ti과 도금 씨앗층인 Cu를 각기 0.1  $\mu m$  및 0.3  $\mu m$  두께로 순차적으로 스퍼터 증착하였다.

Ni 도금을 위한 전해액은 Watt 욕의 조성에 따라 증류수에  $NiSO_4 \cdot 6H_2O$  260 g/L,  $NiCl_2 \cdot 6H_2O$  45 g/L,  $H_3BO_3$  45 g/L, saccharin 0.5 g/L의 비율로 첨가하여 형성하였다. 혼합된 도금액 250 mL 내에 시편을 음극에 위치시키고 Ni 판을 양극에 위치시킨 후 40°C의 온도에서 200 rpm으로 교반하면서 Ni 도금을 실시하였다. 이때 DC power supply를 사용하여 도금전류밀도를 5 mA/cm<sup>2</sup>, 10 mA/cm<sup>2</sup>, 20 mA/cm<sup>2</sup>, 30 mA/cm<sup>2</sup>로 변화시켰으며, 각 도금 전류밀도에서 형성한 Ni 박막의 두께가 15  $\mu m$ 가 되도록 도금시간을 조절하였다.

Ni- $Al_2O_3$  복합박막의 도금을 위해 Ni 도금에 사용한 것과 같은 조성의 Watt 욕에 Fig. 1과 같은 sub  $\mu m$  크기의  $Al_2O_3$  분말을 분산시킨 Ni- $Al_2O_3$  전해욕을 제조하였다. 이를 위해  $Al_2O_3$  분말을 10 g/L의 비율로 증류수에 넣고 30분간 초음파 처리하여 분산시킨 뒤,  $NiSO_4 \cdot 6H_2O$  260 g/L,  $NiCl_2 \cdot 6H_2O$  45 g/L,  $H_3BO_3$  45 g/L, saccharin 0.5 g/L 조성의 Ni Watt 욕에 첨가하였다. 혼합된 도금액 250 mL를 40°C의 온도에서 400 rpm으로 교반하면서 1시간 유지한 후, 도금 씨앗층이 형성된 폴리이미드 기판을 음극에 위치시키고 Ni 판을 양극으로 사용하여 Ni- $Al_2O_3$  복합박막을 형성하였다. 이때 전해액의 온도와 교반속도는 각기 40°C 및 200 rpm을 유지하였다. 도금전류밀도는 5 mA/cm<sup>2</sup>, 10 mA/cm<sup>2</sup>, 20 mA/cm<sup>2</sup>, 30 mA/cm<sup>2</sup>로 변화시켰으며, 각 도금 전류밀도에서 형성한 Ni- $Al_2O_3$  복합박막의 두께

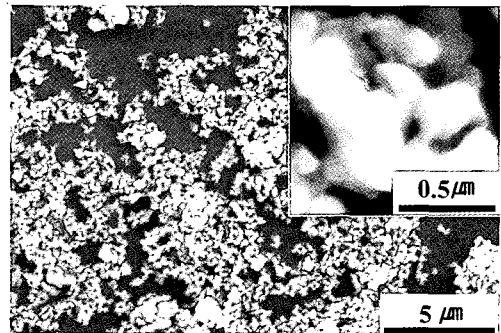


Fig. 1. SEM micrograph of  $Al_2O_3$  powders used to electroplate Ni- $Al_2O_3$  composite coatings.

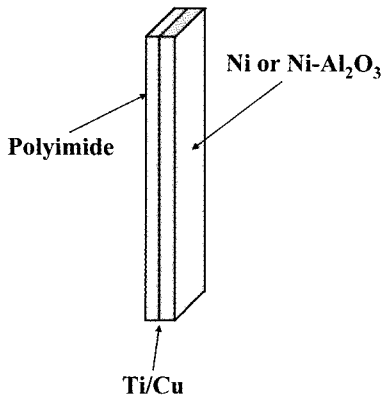


Fig. 2. Schematic illustration of Ni/polyimide and Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/polyimide tensile test specimen.

가 15  $\mu\text{m}$ 가 되도록 도금시간을 조절하였다.

Ni 박막과 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막의 미세구조를 주사전자현미경 (Scanning Electron Microscopy: SEM)으로 관찰하였으며, Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막내 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함량을 EDS (Energy Dispersive Spectroscopy)로 분석하였다. Fig. 2와 같은 Ni/폴리이미드 및 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/폴리이미드 구조의 시편을 사용하여 도금전류밀도에 따른 Ni 박막과 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막의 항복강도와 파괴연신율을 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

도금전류밀도를 변화시키며 형성한 Ni 박막과 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막에 대해 분석한 X-선 회절패턴들을 각기 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. Ni 도금박막의 결정 방향성은 도금액 조성, 온도, pH, 도금전류밀도, stirring 및 첨가제 등에 영향을 받으며, 낮은 전류밀도로 도금한 Ni은 (100) 우선방향성을 나타내나 높은 도금전류밀도에서는 (110) 우선방향성을 갖는 Ni 도금박막이 형성된다고 보고되고 있다.<sup>8)</sup> Fig. 3과 Fig. 4에서 5 mA/cm<sup>2</sup>로 형성한 Ni 박막과 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막이 모두 강한 (100) 우선배향성을 나타내었으며, 도금전류밀도가 증가함에 따라 (100) 우선배향성이 감소하며 (110) 우선배향성이 증가하는 것을 알 수 있다.

도금전류밀도를 변화시키며 형성한 Ni 박막과 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합코팅의 표면 미세구조를 주사전자현미경으로 관찰한 사진들을 각기 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. 또한 Ni/폴리이미드 및 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/폴리

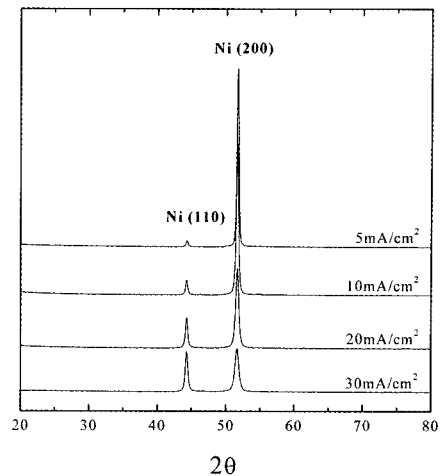


Fig. 3. XRD patterns of the electroplated Ni films.

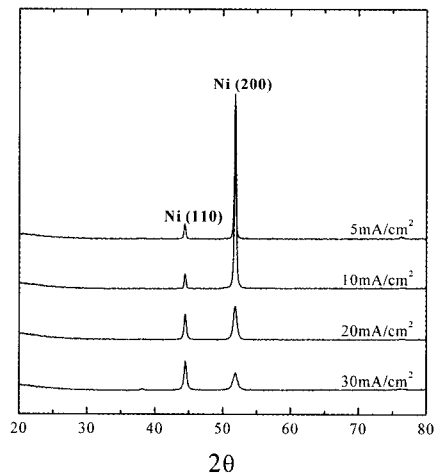
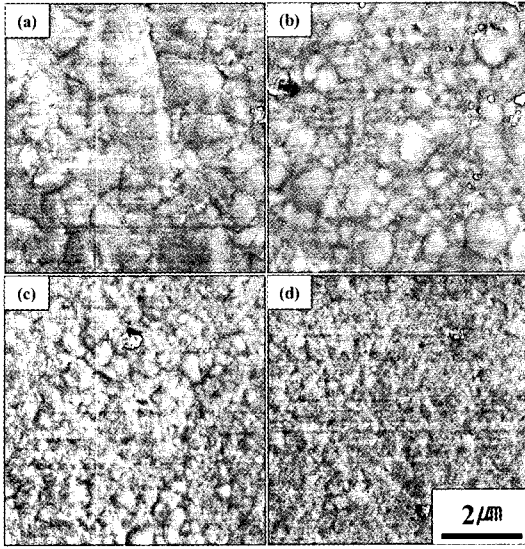


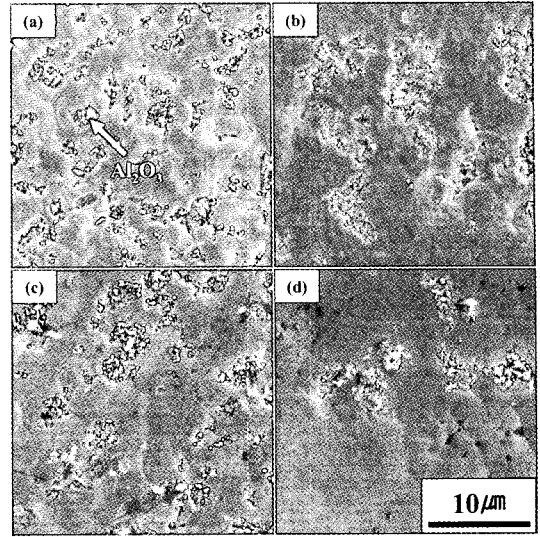
Fig. 4. XRD patterns of the electroplated Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films.

이미드 시편의 인장시험 후 파단면에서의 미세구조를 각기 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 5 및 Fig. 6과 같이 Ni 박막과 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막에서 모두 도금전류밀도가 5 mA/cm<sup>2</sup>에서 30 mA/cm<sup>2</sup>으로 증가할수록 표면 nodule의 크기가 감소하였다. 폴리이미드 기판에 형성한 Ni과 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막을 폴리싱 및 에칭하여 Ni 결정립의 크기를 측정하는 것이 어려웠다. 따라서 Ni 박막과 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막에 대해 측정된 Ni (200) 회절피크의 반각폭을 측정하여 도금전류밀도에 따른 결정립 크기의 변화거동을 분석하였으며) 이를 Fig. 9에 나타내었다. 도금전류밀도의 증가에 따라 Ni (200)



**Fig. 5.** SEM micrographs of surface morphology of Ni films electroplated at (a) 5 mA/cm<sup>2</sup>, (b) 10 mA/cm<sup>2</sup>, (c) 20 mA/cm<sup>2</sup>, and (d) 30 mA/cm<sup>2</sup>.

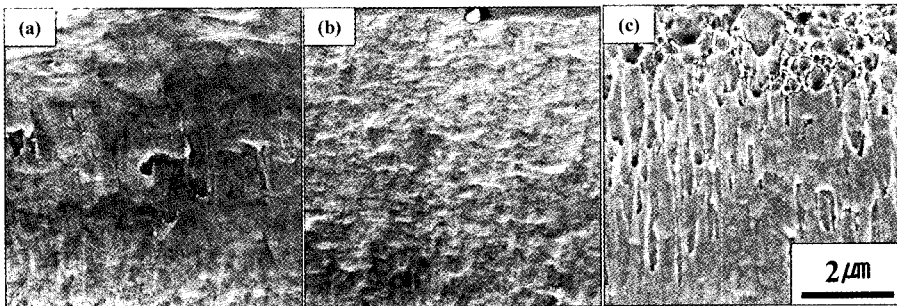
X-선 회절피크의 반각폭이 증가하였으며, 이로부터 도금전류밀도가 증가할수록 표면 nodule의 크기가 감소할 뿐만 아니라 Ni 박막의 결정립 크기가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 9에서 동일한 도금전류밀도에서 형성한 Ni 박막과 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막의 Ni (200) 회절피크의 반각폭은 거의 동일한 값을 나타내었다. Fig. 8(d)와 같이 30 mA/cm<sup>2</sup>의 도금전류밀도에서 형성한 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막 표면에서 관찰한 Ni의 결정립 크기는 ~0.14 μm이었다. 이를 바탕으로 Fig. 9에 나타낸 Ni (200) 반각폭 자료로부터 5~30 mA/cm<sup>2</sup>로 도금한 Ni 박막들의 결정립 크기는 μm 이하로 판단할



**Fig. 6.** SEM micrographs of surface morphology of Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films electroplated at (a) 5 mA/cm<sup>2</sup>, (b) 10 mA/cm<sup>2</sup>, (c) 20 mA/cm<sup>2</sup>, and (d) 30 mA/cm<sup>2</sup>.

수 있다. 따라서 Ni 박막의 결정립 크기가 μm 이하이며 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자들이 응집되어 1 μm 정도의 크기 (Fig. 1)를 이루고 있기 때문에 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막의 전기도금시 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가가 Ni 결정립 크기에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

Fig. 8에 있는 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막의 파단면을 EDS로 분석한 결과, Fig. 10과 같이 5~20 mA/cm<sup>2</sup>의 도금전류밀도에서는 복합박막내 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함유량이 11.48~11.64 vol%로 거의 변하지 않았으나, 도금전류밀도가 30 mA/cm<sup>2</sup>로 증가함에 따라 8.41 vol%로 감소하였다. 일반적으로 금속/세라믹 복합박막을 전기도금시 용매화되어 있는 금속이온보



**Fig. 7.** SEM micrographs of fracture morphology of Ni films after tensile test. (electroplating current density; (a) 5, (b) 10, and (c) 30 mA/cm<sup>2</sup>).

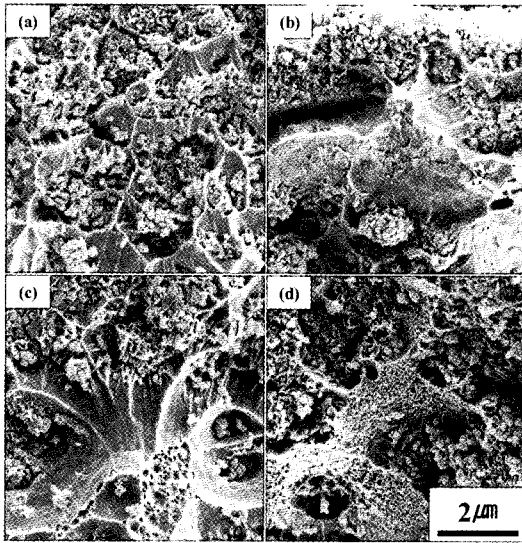


Fig. 8. SEM micrographs of fracture morphology of Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films after tensile test. (electroplating current density; (a) 5, (b) 10, (c) 20, and (d) 30 mA/cm<sup>2</sup>).

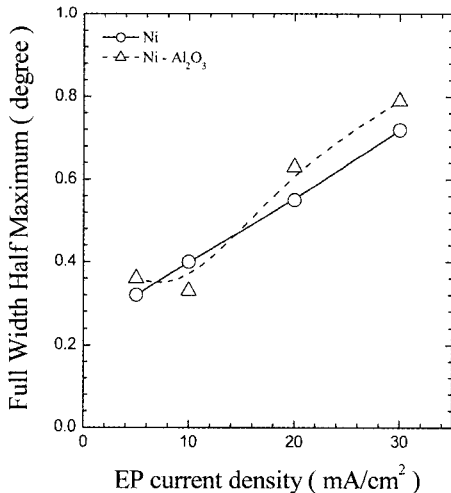


Fig. 9. FWHM of (200) diffraction peak of Ni and Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films electroplated at various current densities.

다 세라믹 입자 표면에 흡착되어 있는 금속이온을 기판에 부착하는 것에 더 많은 에너지가 요구되기 때문에 복합박막내 세라믹 함유량이 도금전류밀도 증가에 따라 증가하여 최대값을 나타낸 후 감소하는 경향을 나타낸다고 보고되고 있다.<sup>10-12)</sup> Fig. 10로부터 5~20 mA/cm<sup>2</sup>가 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함유량이 최

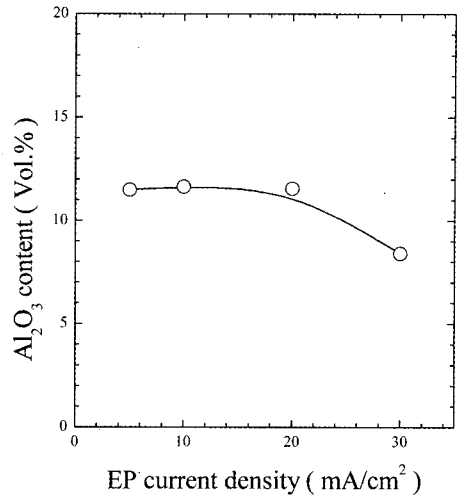


Fig. 10. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content in Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as a function of electroplating current density.

대인 조건이며, 도금전류밀도를 5 mA/cm<sup>2</sup> 이하로 감소시키면 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함유량이 감소할 것으로 예측할 수 있다. 전류밀도를 30 mA/cm<sup>2</sup>으로 증가시키면 Ni의 도금속도가 너무 빨라지게 되어 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함유량이 감소하는 것으로 판단된다.

Fig. 2와 같은 Ni/폴리이미드 및 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/폴리이미드 시편에 인장하중을 가하면 박막과 폴리이미드 필름의 변형률이 동일하여야 하므로 각 재료에 작용하는 응력의 크기는 탄성계수에 따라 변하게 된다. 따라서 시편에 걸리는 전체응력  $\sigma_{total}$ 은 Eq. 1과 같이 표현할 수 있다<sup>13)</sup>. Eq. 1에서  $EF$ 는 박막의 탄성계수,  $E_{PI}$ 는 폴리이미드의 탄성계수,  $V_f^F$ 는 박막의 부피분율,  $A_f^F$ 는 박막의 면적분율이다.

$$\sigma_{total} = E_f \epsilon V_f^F + E_{PI} \epsilon (1 - V_f^F) = E_c \epsilon A_f^F + E_{PI} \epsilon (1 - A_f^F) \quad (Eq. 1)$$

폴리이미드 기판이 배제된 Ni 박막 또는 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막 만의 기계적 성질은 유리 또는 NaCl 기판에 500 nm 정도 두께의 금속 박막을 씌얇층으로 증착하여 그 위에 Ni 박막 또는 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막을 전기도금 후 기판에서 박리시켜 만든 인장시편을 사용하여 측정할 수 있다<sup>14)</sup>. 그러나 본 연구에서와 같이 Ni 박막 또는 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막을 폴리이미드 기판을 사용함으로써 시편 제작이 용이하며, 또한 Ni 박막 또는 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막만

으로 구성된 인장시험편을 기관에서 분리시 발생할 수 있는 소성변형에 의한 영향을 배제할 수 있다고 판단된다. 폴리이미드에 Al을 증착하여 만든 Al/폴리이미드 다층구조의 시편을 사용하여 측정 한 Al 박막의 기계적 성질은 Al 박막만을 인장시험을 하여 구한 결과와 서로 잘 일치하였다고 보고되었다<sup>15)</sup>.

각 도금전류밀도의 조건으로 전착한 15 μm 두께의 Ni 박막과 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막의 항복강도를 구하기 위해 우선 BPDA-PDA 폴리이미드 필름의 응력-변형률 곡선에서 BPDA-PDA의 탄성계수  $E_{Pi} = 22.2$  GPa을 구하였다. Ni/폴리이미드 및 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/폴리이미드 시편의 응력-변형률 곡선에서 0.2% offset 항복강도를 구한 후, Eq. 1을 이용하여 Ni 박막 및 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막의 탄성계수  $E_f$ 와 0.2% offset 항복강도를 구하였다. 도금전류밀도에 따른 Ni 박막과 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막의 항복강도의 변화를 Fig. 11에 나타내었다. 본 연구에서 전기도금법으로 형성한 Ni 박막은 진공증착법으로 형성한 Ni 박막에서 보고된 값<sup>14)</sup>인 231~357 MPa 보다는 낮은 218~267 MPa의 항복강도를 나타내었다. Ni 박막의 경우 도금전류밀도가 5 mA/cm<sup>2</sup>에서 20 mA/cm<sup>2</sup>으로 증가함에 따라 결정립 크기의 감소에 기인하여 항복강도가 증가하였다. 그러나 도금전류밀도를 30 mA/cm<sup>2</sup>로 증가시킴에 따라 항복강도

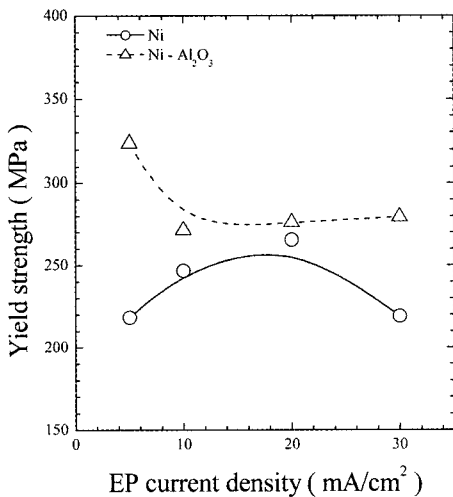


Fig. 11. Yield strength of Ni and Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films as a function of electroplating current density.

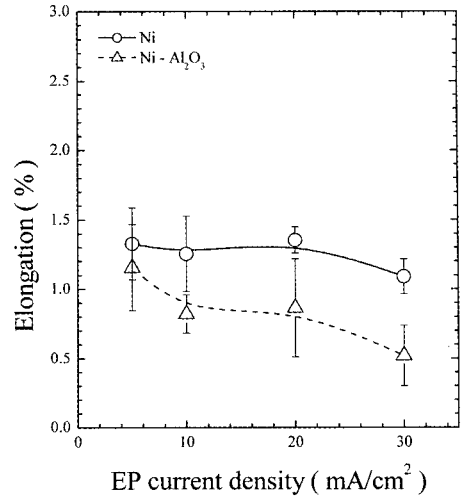


Fig. 12. Fracture elongation of Ni and Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films as a function of electroplating current density.

가 감소하였으며, 이는 Fig. 7과 같이 30 mA/cm<sup>2</sup>에서 도금한 박막의 미세구조가 porous 하게 되어 하중을 지탱하는 능력이 감소하는데 기인하는 것으로 판단된다. Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합코팅의 경우에는 5~30 mA/cm<sup>2</sup>의 조건에서 모두 Ni 박막보다 높은 항복강도를 나타내었다. 특히 5 mA/cm<sup>2</sup>에서 도금한 박막에서 항복강도의 증가가 두드러지게 발생하였는데, 이는 Fig. 6 및 Fig. 8과 같이 다른 박막에 비해 5 mA/cm<sup>2</sup>로 도금한 복합박막에서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 가장 균일하게 분포되어 있기 때문으로 판단된다. 5 mA/cm<sup>2</sup>로 도금한 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막의 항복강도는 동일한 조건으로 형성한 Ni 박막에 비해 50% 증가하였다.

Fig. 12에 Ni 박막 및 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막의 파괴 변형률을 나타내었다. 도금전류밀도가 증가함에 따라 결정립 크기가 감소하고 미세구조가 porous 하여짐에 따라 Ni 박막과 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막의 파괴 연신율이 감소하였으며, Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막에서 도금전류밀도에 따른 파괴 연신율의 감소 정도가 더욱 증가하였다. 이와 같은 결과들을 기초로 5 mA/cm<sup>2</sup>에서 도금한 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막이 그 이상의 전류밀도로 도금한 복합박막에 비해 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 균일하게 분산되어 있으며 항복강도가 높고 파괴 연신율이 가장 크기 때문에, 5 mA/cm<sup>2</sup>의 도금전류밀도가 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막의 형성을 위한 조건으로서 가장 적합할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

(1) 5 mA/cm<sup>2</sup>로 형성한 Ni 박막과 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막이 모두 강한 Ni (100) 우선배향성을 나타내었으며, 도금전류밀도가 증가함에 따라 (100) 우선배향성이 감소하며 (110) 우선배향성이 증가하였다.

(2) Ni 박막과 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합코팅 모두 도금전류밀도가 5 mA/cm<sup>2</sup>에서 30 mA/cm<sup>2</sup>으로 증가함에 따라 표면 nodule의 크기가 감소하며 Ni 결정립이 미세화 되었다.

(3) 5~20 mA/cm<sup>2</sup>의 도금전류밀도에서는 복합박막내 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 함유량이 11.48~11.64 vol%로 거의 변하지 않았으나, 도금전류밀도가 30 mA/cm<sup>2</sup>로 증가함에 따라 8.41 vol%로 감소하였다.

(4) 도금전류밀도가 5 mA/cm<sup>2</sup>에서 20 mA/cm<sup>2</sup>으로 증가함에 따라 Ni 박막의 항복강도가 218 MPa에서 267 MPa로 증가하였으나, 도금전류밀도를 30 mA/cm<sup>2</sup>로 증가시킴에 따라 항복강도가 219 MPa로 감소하였다. Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막은 모두 Ni 박막보다 높은 항복강도를 나타내었으며, 특히 5 mA/cm<sup>2</sup>로 도금한 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막은 동일한 조건으로 형성한 Ni 박막에 비해 항복강도가 50% 증가하였다.

(5) 도금전류밀도가 증가함에 따라 Ni 박막과 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막의 파괴 연신율이 감소하였으며, Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막에서 도금전류밀도에 따른 파괴 연신율의 감소 정도가 더욱 증가하였다.

(6) 5 mA/cm<sup>2</sup>에서 도금한 Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막이 그 이상의 전류밀도로 도금한 복합박막에 비해 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 균일하게 분산되어 있으며 항복강도가 높고 파괴 연신율이 가장 크기 때문에, Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 복합박막의 형성을 위한 조건으로서 5 mA/cm<sup>2</sup>의 도금전류밀도 조건이 가장 적합할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학기술연구원(KIST)의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. H. T. Yeom and J. S. Kee, "Plating and surface treatment", Moonundang, Seoul p.162. (1992).
2. S. M. Chang, R. H. Uang, D. C. Liou, H. T. Hu, K. C. Chen, Y. F. Chen, and Y. H. Chen, "Investigation of electroplating Ni UBM for Pb-free solders", Proc. 2003 Electron. Comp. Technol. Conf. 1209-1214 (2003).
3. S. K. Kang, D. Y. Shih, K. Fogel, P. Lauro, M. J. Yim, G. Advocate, M. Griffin, G. Goldsmith, D. W. Henderson, T. Gosselin, D. King, J. Konrad, A. Sarkhel, K. J. Puttlitz, "Interfacial reaction studies on lead(Pb)-free solder alloys", 2001 Electron. Comp. Technol. Conf. (2001).
4. M. Musiani, "Electrodeposition of composites: an expanding subject in electrochemical materials science", *Electrochimica Acta*, 45, 3397-3402 (2000) .
5. H. Ferkel, B. Muller, and W. Riehemann, "Electrodeposition of particle-strengthened nickel films", *Mater. Sci. Eng.*, A234-235, 474-476 (1997).
6. G. Wu, N. Li, D. Zhou, K. Mitsuo, "Electrodeposited Co-Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite coatings", *Surface and Coatings Technol.*, 176, 157-164 (2004).
7. I. Shao, P. M. Vereecken, R. C. Cammarata, and P. C. Searson, "Kinetics of particle codeposition of nanocomposites", *J. Electrochem. Soc.*, 149 (2002) C610-C614.
8. F. Czerwinski and J. A. Szpunar, "Controlling the surface texture of nickel for high temperature oxidation inhibition", *Corr. Sci.*, 41, 729-740 (1999).
9. B. D. Cullity, "Elements of X-ray diffraction", Addison-Wesley, 2nd Ed., Reading p.102, (1978).
10. G. Wu, N. Li, D. Zhou, and K. Mitsuo, "Electrodeposited Co-Ni-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite coatings", *Surf. Coating Technol.*, 176, 157-164 (2004).
11. N. K. Shrestha and T. Saji, "Non-aqueous composite plating of Ni-ceramic particles using ethanol bath and anti-wear performance of the coatings", *Surf. Coating Technol.*, 186, 444-449 (2004).
12. P. M. Vereecken, I. Shao, and P. C. Searson, "Particle codeposition in nanocomposite films", *J. Electrochem. Soc.*, 147, 2572-2575 (2000).
13. C. R. Barrett, W. D. Nix, and A. S. Tetelman, "The principles of engineering materials", Prentice-Hall, Englewood, 318 (1973).
14. C. A. O. Henning, F. W. Boswell, and J. M. Corbett, "Mechanical properties of vacuum-deposited metal films-II. nickel films", *Acta Metall.*, 23, 187-192 (1975).
15. Y-S. Kang and P. Ho, CC1.8, MRS Spring Meeting, San Francisco (1996).

1. H. T. Yeom and J. S. Kee, "Plating and surface treat-