

## MEMS 응용을 위한 도금장치의 제작 및 특성 연구

박봉남\*, 서화일\*, 김영철\*\*, 김광선\*\*\*

한국기술교육대학교 전기전자공학과\*, 신소재공학과\*\*, 기계공학과\*\*\*

### 초록

최근 MEMS 기술의 비약적인 발달로 인해 미세 가공 기술을 이용하여 높은 중형비를 갖는 각종 전기소자나 액츄에이터 등의 제작에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 금속 구조물을 형성하기 위해서 전해도금의 방식이 널리 쓰여지고 있는데, 이에 본 논문에서는 니켈 전해도금을 위한 장치를 제작하고, 온도, pH, 교반 및 전류밀도 등에 따른 영향을 조사하였다.

### 1. 서론

최근 MEMS 기술의 비약적인 발달로 인해 미세 가공 기술을 이용하여 높은 중형비를 갖는 각종 전기소자나 액츄에이터 등의 제작에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 인덕터 등 전기소자나, 마이크로그리퍼 등 액츄에이터 제작을 위해서는 금속구조물이 필요하며, 이를 형성하기 위해서는 전해도금법이 주로 사용되고 있다. 도금으로 금속막을 형성할 때는 여러 가지 공정변수로 인해 막의 두께(thickness), 표면 거칠기(roughness), 접착력(adhesion) 등이 달라 질 수 있다. 공정 변수 요인으로는 시간, pH, 교반, 온도, 전류밀도 등이 있다. 본 논문에서는 MEMS 응용을 위해 금속막을 형성 할 수 있는 Electroplating 장비를 제작하고, 앞서 언급한 공정변수에 따른 막의 두께, 표면 거칠기 등의 특성을 조사하였다.

### 2. Electroplating 장비 제작

본 실험에서 제작한 Electroplating 장비는 교반기, 정전류원, 여과용 순환펌프 및 필터, 도금탱크, Waterbath, Hollow balls, 웨이퍼 지지대, 니켈 pellets이 담겨진 Ti basket 등으로 구성된다. 장비의 전체적인 구성 및 사진을 그림 1, 2에 나타내었다.

교반기는 기계적인 교반을 통해 음극 주변에서의 농도의 저하를 줄어들게 함과 동시에 발생된 수소이온( $H^+$ )을 제거하는 효과도 얻을 수 있어 균일한 두께의 도금막을 얻을 수 있게 해 준다. [1][2] 여과용 순환 펌프 및 필터는 도금 용액의 파티클 등을 필터링을 통해 제거하기 위함이다. Waterbath는 도금액의 온도를 제어하는 장치로, 물 표면에는 열손실 차단을 위해 Hollow balls을 채웠다. 도금탱크는 실제 도금이 이루어지는 부분으로서 산과 염기에 대해 내성이 있는 재질을 선택했다. 도금시 웨이퍼를 전해액 속에서 수직으로 지지해 주는 웨이퍼 지지대를 설치했으며, 소오스인 니켈 pellets은 Ti Basket에 담아 양극(anode)을 형성하였다.

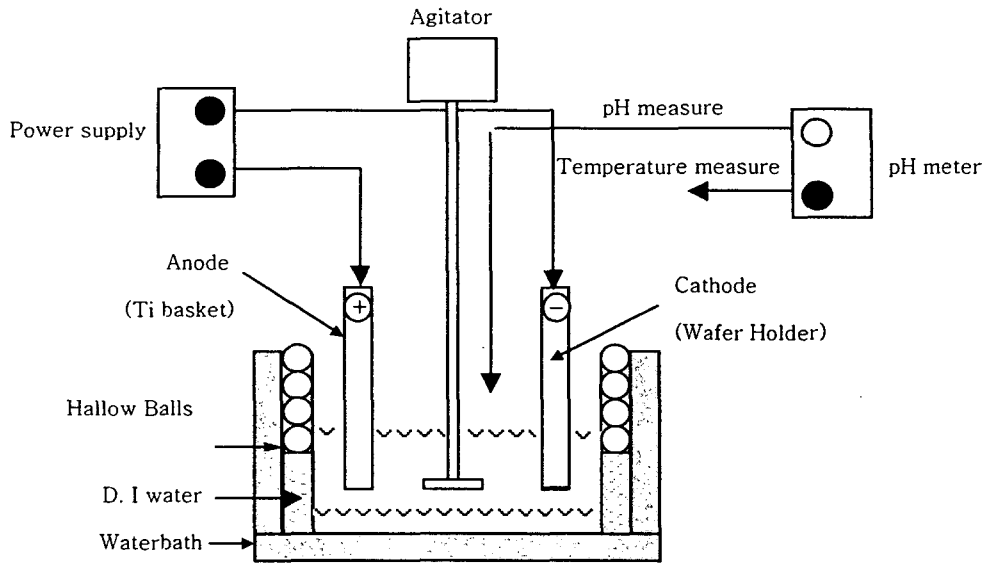


그림 1. 도금장치 구성도

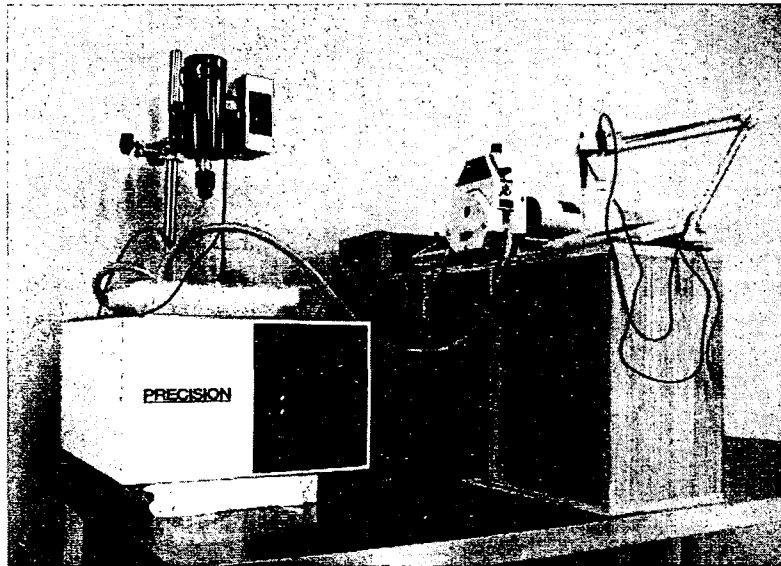


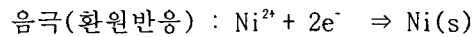
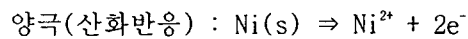
그림 2. 도금장치 사진

본 논문에서 실험하게 될 도금의 전해액 구성은 표 1과 같다.[3]

Ni(SO <sub>3</sub> · NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (Nickel Sulfamate)	450 ml
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (Boric Acid)	37.5g
Lauryl Sulfate	3g
D.I H <sub>2</sub> O to make 1 liter	1000 ml

표 1. Ni Sulfamate Solution

전해액 속에서 구리막 위에 니켈이 석출되는 메커니즘은 다음과 같다.



### 3. 제작 장비에 관한 실험 및 결과

#### 3.1 시간 변화에 따른 분석

니켈 전해도금을 이용한 마이크로 구조물을 만들기 위해서는 시간에 따른 도금막의 두께를 알아야 한다. 실험조건은 pH 4, 전류밀도 10mA/cm<sup>2</sup>, 온도 55℃로 설정하고, 30분을 시점으로 3시간 동안 30분을 주기로 6개의 샘플을 제작하여 SEM 장비를 이용하여 측정하였다.

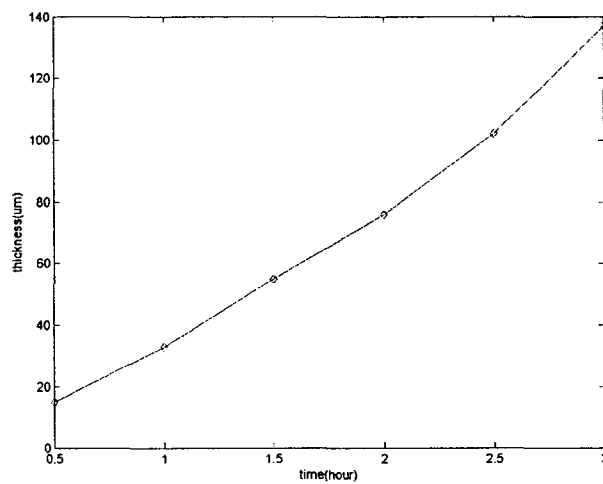


그림 3. 시간 변화에 따른 도금막의 두께

0.5h에서 1.5h 사이에는 약 16μ 정도의 막이 형성되고 2h이 넘어갈수록 0.5h당 수 μ 비율로 더 형성됨을 보였다.

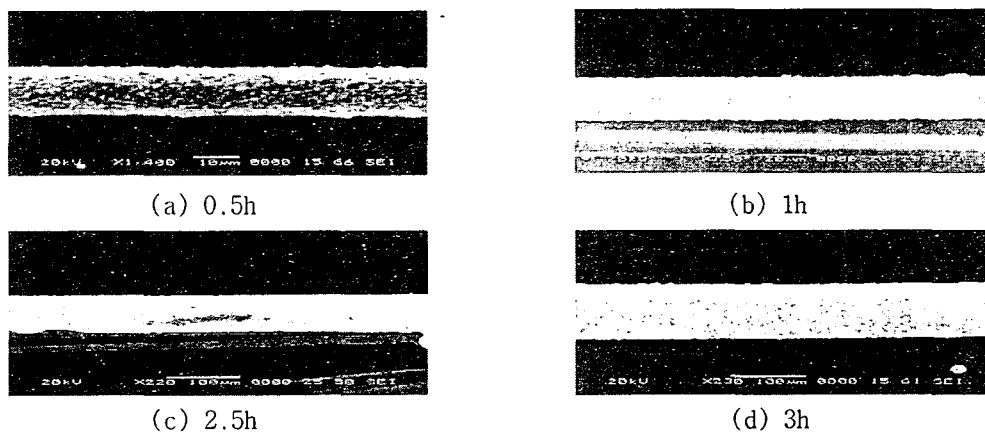


그림 4. 시간에 따른 도금두께의 SEM 측정

### 3.2 pH 변화에 따른 분석

그림 5는 도금액의 pH 변화에 따른 도금막의 두께 변화이다. 실험조건은 전류밀도  $10\text{mA}/\text{cm}^2$ , 시간 1h, 2h, pH 지수 3, 4, 5, 온도  $55^\circ\text{C}$ 로 설정하였다.

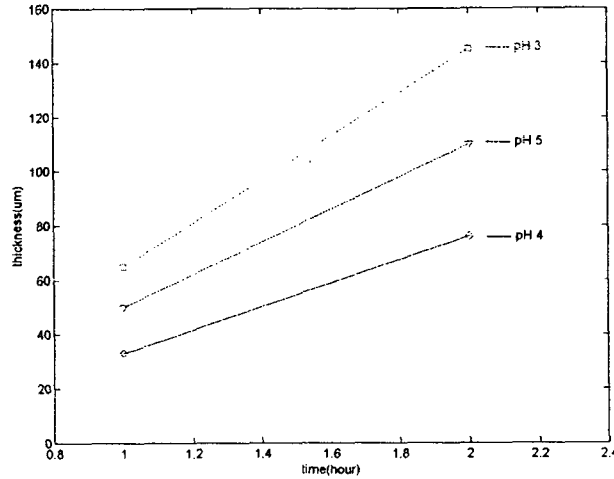


그림 5. pH 변화에 따른 도금막의 두께

pH 지수가 낮아질수록 더 높은 막두께를 얻을 수 있지만 구리와 니켈이 접촉되는 계면이 상당히 거칠어진다는 것을 볼 수 있었고, pH가 높아질수록 NaOH와  $\text{Ni}(\text{SO}_3\text{NH}_2)_2$ 가 반응하여 생긴 침전물들이 생겨 막 주변에 달라붙는 현상을 볼 수 있었다.

### 3.3 전류밀도(Current Density) 변화에 따른 분석

면적당 공급하는 전류밀도에 따른 막의 두께와 거칠기(roughness)를 알아보았다. 실험조건은 pH 4, 시간 1h, 2h, 전류밀도 5, 10, 15,  $20\text{mA}/\text{cm}^2$ , 온도  $55^\circ\text{C}$ 로 설정하였다.

전류밀도가 증가할수록 형성되는 막의 두께는 증가 하나 그에 따른 거칠기도 증가 한다는 것을 볼 수 있다. 도금막의 두께 변화와 거칠기에 대하여 측정된 결과는 다음과 같다.

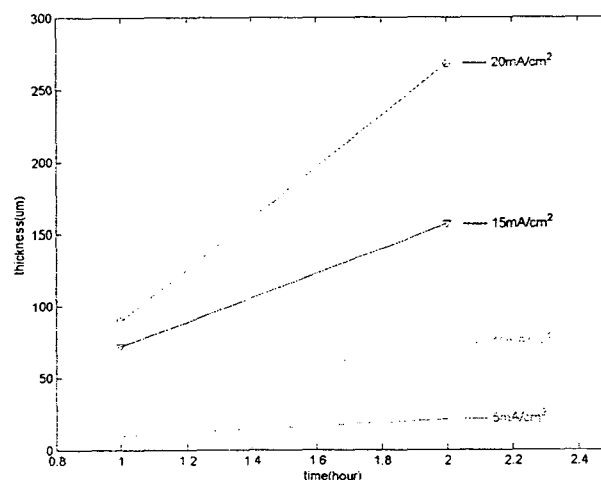


그림 6. 전류밀도 변화에 따른 도금막의 두께

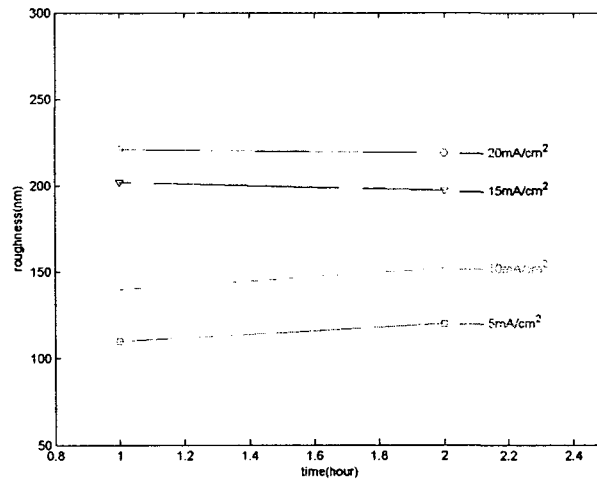
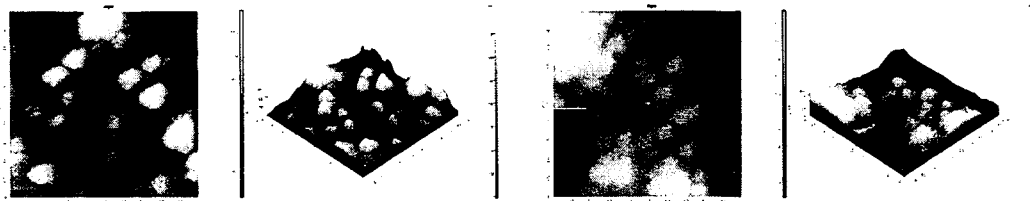


그림 7. 전류밀도 변화에 따른 거칠기



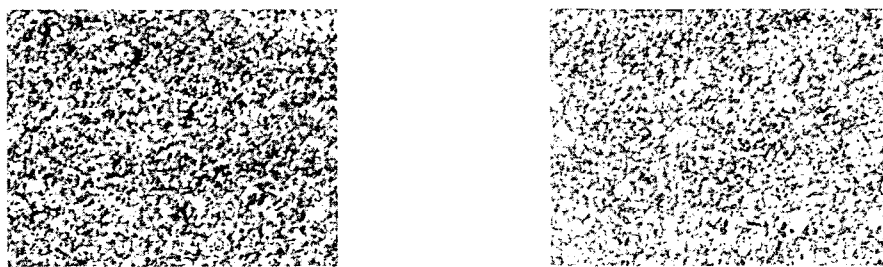
(a) 5mA/cm<sup>2</sup>, 1h 일때의 표면과 3D

(b) 15mA/cm<sup>2</sup>, 1h 일때의 표면과 3D

그림 8. 전류밀도 변화에 따른 AFM 측정

### 3.4 교반에 따른 분석

니켈은 전해액 속에서 전기분해하면 수소이온이 생기게 된다. 수소이온들은 음극에 달라붙어 도금되는 막의 질을 저하시킨다. 이러한 현상은 적절한 교반을 통하여 감소 시킬 수 있다. 실험 조건은 pH 4, 전류밀도 10mA/cm<sup>2</sup>, 시간 1h, 교반 회전수 200rpm, 온도 55℃로 설정하고 교반을 하였을 때와 하지 않았을 때의 표면을 측정하였다.



(a)교반을 할 때

(b)교반을 하지않을 때

그림 9. 교반 변화에 따른 SEM 측정

교반을 행하지 않을 시에는 막의 구성 자체가 교반을 하였을 때보다 조밀하지 않는 것을 알 수가 있다.

### 3.5 온도 변화에 따른 분석

온도 변화의 실험을 통하여 도금막의 두께와 표면의 거칠기를 알아보았다. 실험조건은 pH 4, 전류밀도  $10\text{mA}/\text{cm}^2$ , 시간 1h, 2h, 교반 회전수 200rpm, 온도  $45^\circ\text{C}$ ,  $55^\circ\text{C}$ ,  $65^\circ\text{C}$ 로 설정하고 SEM과 AFM을 이용하여 측정하였다.

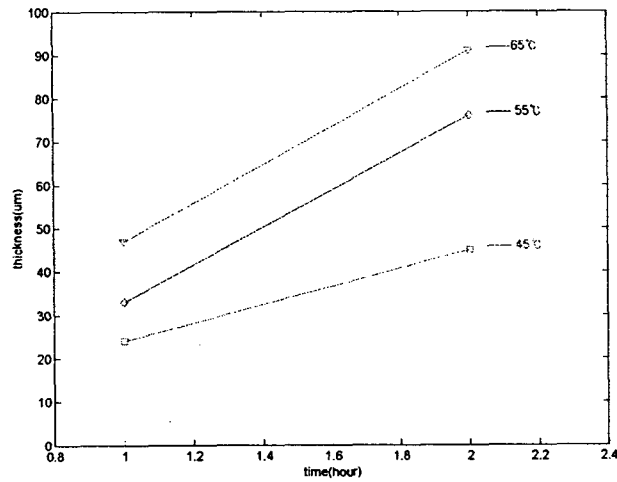


그림 10. 온도 변화에 따른 도금막의 두께

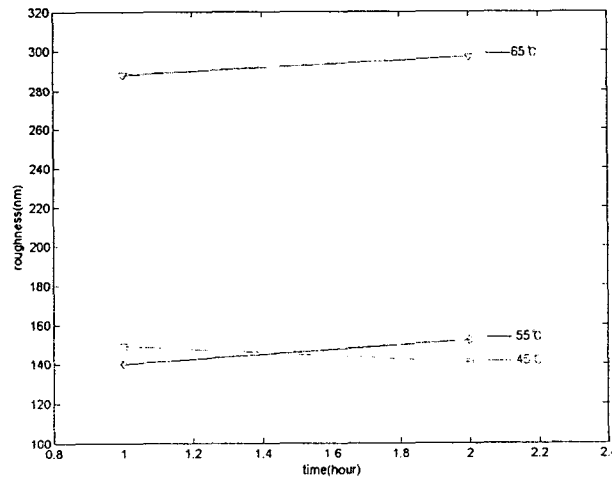


그림 11. 온도 변화에 따른 거칠기

온도가 증가 할 수록 막에 대한 두께가 증가함을 볼 수 있다. 하지만 도금막 두께가 증가 할수록 거칠기는 증가 한다.  $45^\circ\text{C}$ 와  $55^\circ\text{C}$ 에 대한 실험결과는 비슷하나  $60^\circ\text{C}$ 이상이 되면 표면의 거칠기가 배 이상으로 증가함을 볼 수 있다.

#### 4. 결론

MEMS 분야 응용을 위해 금속막을 도금 할 수 있는 Electroplating 장비를 제작하고, 니켈 전해도금에 관한 특성을 조사하였다.

도금공정에 영향을 주는 시간, pH, 전류밀도, 교반등의 공정변수에 대해 실험을 통하여 공정 변수들이 도금막의 두께나 표면의 거칠기, 막의 균일성 등에 영향을 미치는 정도에 대하여 알아보았다. 조사된 특성은 앞으로의 MEMS 공정을 이용한 소자 제조시 기본 자료로 사용 될 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

1. M. J. Madou, "Fundamentals of Microfabrication : The Science of Miniaturization," CRC press, Second Edition, pp.334-357, 2002
2. W. Bacher, K. Bade, B. Matthis, M. Saumer, R. Schwarz, "Fabrication of LIGA mold inserts," *Microsystem Technologies*, vol. 4, pp. 117-119, 1998.
3. W. E. A. Maner, "Electroforming Technique in the LIGA process for the production of microdevices", *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 4, pp. 527-537, 1989