

무전해 니켈 도금과 실리콘의 이방성 식각을 이용한 미세 가동 구조물의 제작 방법에 관한 연구

論 文
49C-6-8

A Study of Micro Freestanding Structure Fabrication using Nickel Electroless Plating And Silicon Anisotropic Etching

金 聲 赫* · 金 容 權** · 李 宰 鎬*** · 許 振§
(Seong-Hyok Kim · Yong-Kweon Kim · Jae-Ho Lee · Jin Huh)

Abstract - This paper presents a method to fabricate freestanding structures by (100) silicon anisotropic etching and nickel electroless plating. The electroless plating process is simpler than the electroplating, and provides good coating uniformity and improved mechanical properties. Furthermore, the (100) silicon anisotropic etching in KOH solution with being aligned to <100> direction provides vertical (100) sidewalls on etched (100) surface. In this paper, the effects of the nickel electroless plating condition on the properties of electroless plated metal structures are investigated to apply fabrication of micro structures and then various micro structures are fabricated by nickel electroless plating. And then, the structures are released by silicon anisotropic etching in KOH solution with a large gap between the structure and the substrate. The fabricated cantilever structures are 20 μ m wide, 5 μ m thick and 15 μ m over the silicon substrate, and the comb structure has the comb electrodes which are 4 μ m wide and 4.3 μ m thick separated by 1 μ m. It is released by silicon anisotropic etching in KOH solution. The gap between the structure and the substrate is 2.5 μ m.

Key Words : silicon anisotropic etching, nickel electroless plating, freestanding structure

1. 서 론

최근에 미세 전기기계 시스템(Micro Electromechanical System : MEMS) 기술에서 주목받고 있는 큰 폭-높이비를 갖는 미세 구조물의 제작에 있어서 LIGA[1]와 UV-LIGA[2] 공정은 가장 대표적인 방법 중의 하나이다. LIGA공정은 X 선을 이용한 노광 기술을 이용하여 매우 큰 폭-높이, 높이-간극 종횡비(aspect ratio)를 갖는 구조물의 제작을 가능케 하나[1], 싱크로트론(synchrotron)을 필요로 하며 공정 단가가 높다는 단점이 있다. X선을 대신하여 UV를 사용하는 UV-LIGA 공정은 일반적인 감광제(photoresist)와 기존의 사진 식각 장비를 이용하므로 LIGA 공정에 비해 공정이 보다 간단하고, 공정 단가가 낮아지는 장점이 있으며, 후막 감광제(thick photoresist) 기술의 발달로 인하여 기존의 다결정 실리콘 표면 미세 가공 기술로서는 어려웠던 비교적 높은 폭-높이, 높이-간극 종횡비를 갖는 구조물의 제작을 가능하게 한다[2]. 이러한 LIGA와 UV-LIGA 공정에서 미세 금속 구조물을 형성하는 방법은 크게 전해 도금(electroplating)과 무전해 도금(electroless plating) 공정이 있으며, 지금까지는 미세 구조물 제작에 관하여 많은 연구가 이루어진 전해 도금 공정이 주로 사용되었으나, 전류 밀도에 의해 도금 특성이 변화하게 되며, 도금하려는 바탕 물질이 도체여야 하는 단점이 있다. 이에 비해, 무전해 도금은 금속 염과 가용성 환원제가 공존하는 용액에서 환원제의 산화 반

응으로 방출되는 전자에 의해서 금속 이온을 환원시켜 금속 피막을 석출시키는 것으로, 전기력에 의하지 않으므로, 전류를 흘리기 위한 전극이 불필요하고, 전류 밀도의 영향이 없으며, 복잡한 모양의 균일한 도금이 가능하다. 또한, 부도체에도 도금이 가능한 장점으로 인하여 전해 도금과는 달리 전도성 도금 기반층(seed layer)이 필요 없으며, 이로 인해 UV-LIGA 공정을 전해 도금으로 할 경우 필요한 전도층 형성 등의 과정을 생략할 수 있어, 제조 공정의 수를 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한, 무전해 도금에 의해 제조된 도금 피막은 균일하고 치밀한 막을 가지며 내식성, 내마모성, 경도 등이 우수하기 때문에 미세 구조물의 성질이 우수할 것으로 기대되고 있다[3,4]. 표 1은 무전해 도금과 전해 도금을 비교한 표이다.

표 1 무전해 도금과 전해 도금의 비교표

Table 1 Comparison of electroless plating and electroplating

	Electroless plating	Electroplating
Principle	chemical	electrical
External power supply	×	○
Anode	×	○
Substrate	metal, non-metal	metal
Step coverage	conformal	geometry dependent
Adhesion	poor on non-metal	good
Control of rate	pH, temperature and etc. current density	

이러한 무전해 도금의 특징을 바탕으로 90년대 들어 무전해 도금을 이용하여 미세 구조물을 제작하려는 연구가 보

* 正 會 員 : 서울대 電氣工學部 博士課程

** 正 會 員 : 서울대 電氣工學部 副教授 · 工博

*** 正 會 員 : 弘益大 金屬 · 材料工學科 教授 · 工博

§ 正 會 員 : KIST 委囑研究員 · 工碩

接受日字 : 2000年 1月 25日

最終完了 : 2000年 5月 16日

고되고 있으며[4,5,6]. 국내에서도 무전해 구리 도금을 이용하여 MEMS용 배선 제작에 적합한 미세 전도성 패턴을 형성한 결과가 발표되었다[7].

도금 기술을 이용하여 기판으로부터 떨어져 움직일 수 있는 가동 구조물(freestanding structure)을 제작하는 공정은 다결정 실리콘을 이용한 표면 미세 가공 기술과 같이 희생층(sacrificial layer)의 형성 및 구조물의 도금, 희생층 식각을 통한 가동 구조물 제작의 순서가 일반적이다. 하지만, 이러한 일반적인 표면 미세 가공 기술에서 사용되는 희생층은 화학 기상 증착(chemical vapor deposition, CVD), 스퍼터링(sputtering), 열증착법(thermal evaporation)을 이용하여 증착되며, 이러한 희생층은 수 μm 의 제한된 두께로만 형성할 수 있다. 따라서, 제작된 구조물의 수직 방향으로의 움직임은 희생층의 두께에 크게 의존하게 된다[8].

본 논문에서는 무전해 니켈 도금과 (100) 실리콘의 이방성 습식 식각을 이용하여 미세 니켈 가동 구조물을 제작하는 공정방법을 제안하였다. 미세 니켈 구조물을 무전해 도금으로 제작하기 위하여 무전해 니켈 도금 공정의 특성을 조사하였으며, 적절한 도금 조건에서 미세 니켈 구조물을 (100) 실리콘 기판 위에 제작한 후, (100) 실리콘 기판을 이방성 습식 식각하여 니켈 가동 구조물을 완성한다. 이때 사용하는 (100) 실리콘의 습식 식각 공정은 일반적으로 알려진 <110> 방향으로의 정렬이 아닌 <100> 방향으로 정렬하여 바닥면과 수직한 옆면을 얻는 공정 방법이다. 제안된 공정은 1장의 마스크를 사용하며 추가적인 희생층의 증착을 필요로 하지 않는 매우 간단한 공정이며, 무전해 도금으로 제작된 미세 니켈 구조물은 하부의 (100) 실리콘 기판을 이방성 습식 식각하여 희생층으로 사용하므로, (100) 실리콘의 식각 깊이를 조절하여 보다 높이 떠 있는 가동 구조물의 제작이 가능하다는 장점이 있다.

2. 연구 배경

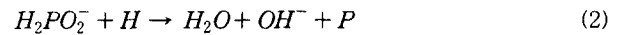
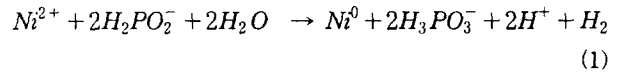
2.1. 니켈 무전해 도금

일반적으로 무전해 도금은 온도, pH, 도금액 성분의 농도 등의 조건에 따라 민감하게 도금막의 성질과 도금 속도가 변하게 되며, 이러한 도금 조건들을 정확히 맞추어야 한다. 또한, 도금 공정 중에 도금액의 pH, 도금액 성분의 농도 등이 계속 변하게 되므로, 이를 제어해야 하는 문제점을 가지고 있으며, 전해 도금법에 비해 느린 도금 속도를 가지고, 무전해 도금을 위한 임계값 이상의 온도를 올려 주어야 한다는 단점이 있다. 따라서, 높은 온도에서 작업이 곤란한 공정에는 적용이 어려운 단점을 가지고 있어 응용에 많은 제약을 가지고 있다. 특히, 감광제를 사용하여 도금틀을 형성하는 UV-LIGA MEMS 공정에 응용하기 위해서는 저온 공정에 적용이 가능한 도금액의 선택과, 도금 전처리 조건 및 도금액과 도금 조건에 따른 특성의 변화에 대해서 조사하는 것이 필요하다.

무전해 도금은 금속염과 가용성 환원제가 공존하는 용액에서 환원제의 산화 반응으로 방출되는 전자에 의해서 금속 이온을 환원시켜 금속막을 석출시키는 것으로, 전기력에 의하지 않으며, 촉매 표면상에서 금속 이온의 선택적 환원

반응과 도금층 자체의 촉매 작용(catalytic action)을 통해 도금이 지속되는 자기 촉매(autocatalytic) 반응의 특징을 가지고 있다. 이러한 무전해 도금에 필요한 성분으로는 석출시키고자 하는 금속염과 금속 이온에 전자를 주어 금속으로 환원시키는 환원제(reducing agent)가 있으며, 그 외의 보조 성분으로는 pH 조정제, 도금 반응의 진행에 따라 금속 이온이 감소하고, 그것에 따라 수소 이온이 증가하여 pH의 저하를 초래하는 것을 막아주는 역할을 하는 완충제(buffer), 금속 이온의 침전을 막아주는 착화제(complexing agent), 도금할 표면 이외에서의 환원 반응과 도금액의 자연 분해 등을 억제하며, 도금액의 노화로 생긴 침전과 환원제와 반응하여 수소 가스가 발생하는 것을 방지해 주는 안정제(stabilizer) 등이 있다.

일반적으로 hypophosphite를 사용하는 니켈 도금은 다음과 같은 화학 반응식으로 나타낼 수 있다[9].



전체 반응식 식(1)과 인이 석출되는 부반응을 나타내는 식(2)는 도금 공정시에 동시에 일어나게 되며, 이러한 반응이 지속되기 위해서는 촉매 표면(catalytic surface)을 형성시키기 위한 전처리를 도금에 앞서서 해야 한다. 전처리 과정의 활성화는 매우 중요한 과정이며, 도금이 될 바탕 물질을 활성화시켜 자기 촉매 반응이 일어날 수 있는 상태를 만들어 준다. 이러한 도금 전처리를 거쳐 형성된 촉매 표면에 일단 Ni^{2+} , H_2PO_2^- 와 같은 반응물이 흡착됨으로써 도금이 시작되면, 이들이 흡착되어 생기는 구부적인 전위차로 인한 반응의 구동력으로 반응이 계속되게 된다.

표 2 무전해 니켈 도금을 위한 도금액 조성
Table 2 Composition of the electroless plating solution

	Solution	
Ni Source	$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	25g/l
Reducing agent	$\text{NaPH}_2\text{O}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	25g/l
Complexing agent	$\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	50g/l
Stabilizer	H_2NCSNH_2	0~1ppm
pH adjuster	NH_4OH	

니켈 무전해 도금을 하기 위한 도금액의 조성을 표 2에 나타내었다. 니켈원으로는 nickel sulfate를 사용하였으며, 환원제로는 sodium hypophosphite를, 착화제는 sodium citrate, 안정제는 thiourea를 사용하였다.

무전해 니켈 도금 공정에서 가장 중요한 조건은 온도와 pH이며, pH에 따라서 니켈 도금 피막의 구조와 그에 따른 기계적 성질 등이 변하므로 매우 중요한 변수가 된다. 그러므로, 재현성 있는 구조물의 특성을 얻기 위해서는 도금액의 pH를 조절할 필요성이 있으며, 본 논문에서는 NH_4OH 를 첨

가하여 pH를 조절하였다. 온도를 60℃로 고정시키고 pH를 9.0에서 11.0 까지 0.5씩 증가시키면서 관찰한 도금 속도의 변화를 그림 1에 나타내었다.

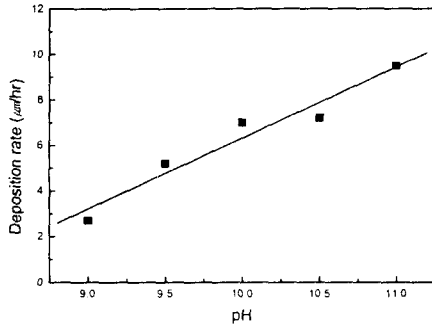


그림 1 도금액의 pH와 도금 속도와의 관계
Fig. 1 Deposition rate with pH of the electroless plating solution

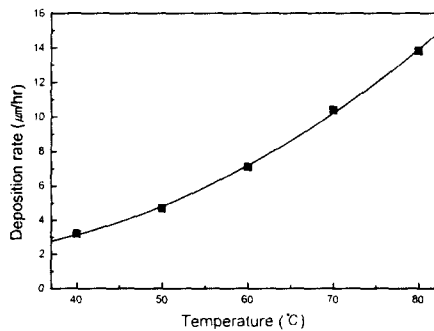


그림 2 도금액 온도와 도금 속도와의 관계
Fig. 2 Deposition rate with temperature of the electroless plating solution

온도는 무전해 도금 공정에 있어서 또 하나의 중요한 변수이며, 도금 속도에 많은 영향을 미치게 된다. 그림 2는 도금액의 pH를 10으로 고정시켰을 경우 도금액 온도와 도금 속도와의 관계를 나타내는 그래프이다.

이러한 기본적인 무전해 니켈 도금 특성을 바탕으로 하여 본 논문에서는 미세 구조물을 형성하기 위한 무전해 니켈 도금 조건을 결정하였다. 도금액의 pH는 10으로 고정하였으며, 높은 온도에서 발생하는 PR 물드의 손상을 방지하기 위해 55℃~60℃의 저온에서 무전해 도금을 수행하였다. 또한, 도금액의 안정성과 균일하고 정확한 니켈 미세 구조물을 얻기 위하여 안정제를 0~0.8ppm 첨가하여 구조물의 형상을 관찰하였다.

2.2. KOH 수용액을 이용한 (100) 실리콘의 이방성 식각

일반적으로 사용되는 (100) 실리콘의 이방성 습식 식각

은 웨이퍼에 표시되어 있는 프라이머리 플랫(primary flat) 방향인 <110>방향으로 패턴을 정렬한 뒤, KOH나 EDP 등의 습식 식각 용액에서 식각하여 구조물을 형성한다. 이러한 (100) 실리콘의 이방성 습식 식각을 이용하여 제작되는 대표적인 구조물은 V자 형태의 홈, 식각 최종 단계에서 형성되는 얇은 실리콘 박막을 이용하는 펌프, 마이크로 폰, 압력계 및 실리콘을 질량체로 하는 초소형 가속도계 등이 있다[10].

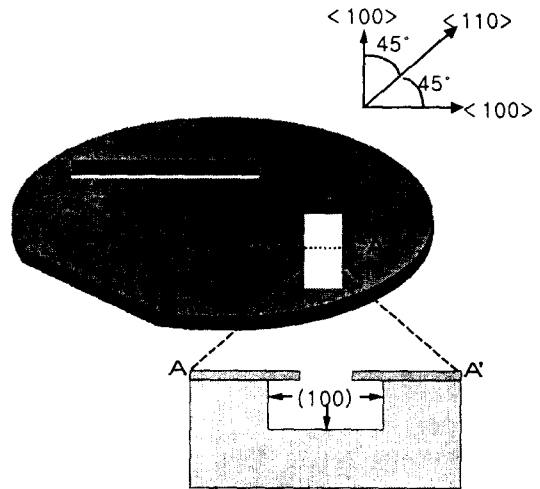


그림 3 (100) 실리콘을 <100> 방향으로 정렬한 후 KOH 용액에서 습식 식각한 후 구조물의 형상을 나타낸 개략도

Fig. 3 Schematic diagram of the structure which is fabricated by (100) silicon etch in KOH solution with aligned along the <100> direction

또다른 (100) 실리콘의 이방성 습식 식각 특성으로, 그림 3과 같이 (100) 실리콘을 프라이머리 플랫과 45° 기울여 패터닝하여, KOH 수용액에서 습식 식각 하게 되면, 식각이 진행됨에 따라 바닥면인 (100) 면과 수직한 (100) 옆면이 나타나게 된다. 그러므로, 이를 이용하면, (100) 실리콘을 이용하여 U자 형태의 홈이나 바닥면에 수직한 구조물을 제작할 수 있으며, 실제로 이러한 특성을 이용하여 제작된 수직한 구조물이 광학계에서의 반사 거울이나 투과막으로 사용된 예가 보고되었다[11]. 이러한 (100) 실리콘의 KOH 용액에서의 습식 식각 특성은 일반적으로 표면 미세 가공 기술에서 사용되는 회생층의 등방 식각과 비슷하며, 이를 이용하여 미세 니켈 구조물 하부의 (100) 실리콘을 회생층으로 사용할 수 있다. 또한, KOH 용액에서의 습식 식각 조건을 조절하면 비교적 빠른 시간에 가동부 하부의 실리콘을 원하는 만큼 식각해 낼 수 있으므로, 바닥면에서 높이 떠 있는 가동 구조물을 제작할 수 있으며, KOH 식각 조건에 따라 식각 속도를 조절할 수 있으므로 정확한 식각 깊이와 언더컷의 조절이 가능하다는 장점이 있다. 하지만, (100) 실리콘을 회생층으로 사용하는 공정을 이용하기 위해서는 구조물을 지지하는 고정부를 가동부 하부의 실리콘이 식각되면서 발생하는 언더컷에 상관없이 가동부를 지지할 수 있도록 충분히 크게 설계되어야 한다.

3. 제작 공정

무전해 니켈 도금과 (100) 실리콘의 이방성 습식 식각을 이용한 미세 니켈 가동 구조물의 제작 공정은 그림 4와 같다. 우선, (100) 실리콘 웨이퍼를 기판으로 하여 접착력을 향상시키기 위하여 금속층을 열증착법(thermal evaporation)으로 형성하였다. 이 금속층은 무전해 도금 후, 가동 구조물을 형성하기 위한 KOH 용액에서의 습식 식각에서도 강인해야 하므로, Ti(200Å)-Au(1000Å) 기반층을 이용하였다(그림 4(a)).

무전해 도금을 위한 도금틀은 우선 높은 폭-높이비를 수직하게 구현할 수 있어야 하고, 알칼리용액인 도금액에 대해서 내성을 가져야 한다. 이러한 도금틀의 형성을 위하여 후막 감광제를 사용하였다. 후막 감광제 중의 하나인 PMER PLA-900(TOK Co. Ltd.)을 이용한 도금틀은 다음과 같이 형성되었다. 우선, Ti-Au 금속층이 증착된 (100) 실리콘 기판에 PMER을 700rpm에서 10초, 1800rpm에서 5초의 조건으로 도포한 후, 110°C 핫플레이트(hot plate)에서 6분간 열처리를 하였다. 열처리 공정 후, 기판을 UV 마스크 정렬기(MA-6, Kalsüss)를 이용하여 16mW 광량에서 150초간 자외선 노광시켜 높이 20 μ m의 도금틀을 형성하였다(그림 4(b)).

도금틀 형성에 사용된 구조물 패턴은 (100) 실리콘 기판의 <100> 방향으로 정렬하였으며, 이는 앞서 설명한 (100) 실리콘의 이방성 습식 식각 특성 중 수직하게 식각되는 성질을 이용하여 가동 구조물을 형성하기 위함이다.

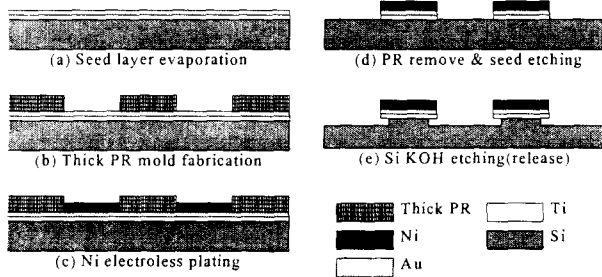


그림 4 무전해 니켈 도금과 (100) 실리콘의 이방성 습식 식각을 이용한 미세 니켈 구조물의 제작 공정도

Fig. 4 Fabrication process of the micro nickel structure using nickel electroless plating and (100) silicon anisotropic wet etch

제작된 도금틀을 이용하여 니켈 구조물을 형성하는 무전해 도금 공정은 도금 전처리 공정과 도금 공정으로 나눌 수 있다. 전처리 공정은 앞서 설명한 바와 같이 무전해 도금이 진행될 수 있도록 팔라듐(Pd) 입자를 도금 기반층 위에 흡착시켜 촉매 표면을 만드는 공정이며, 원하는 패턴의 균일한 도금 및 안정성을 위해 매우 중요한 단계이다. 이를 위해 본 논문에서는 전처리 용액으로 PdCl₂ 300~500ppm+HCl 10ml+H₂O 1000ml 혼합액을 사용하였다. 전처리 용액을 이용하여 Ti-Au 금속층과 도금틀이 형성된 시편을 수초간 처리한 후, 탈이온수(D.I. Water)로 1분간 세척을 하였다. 도금액의 pH는 10으로 고정시켰으며, 온도는 후막 감광제의 열적 손상이 없는 비교적 낮은 온도인 55°C와 6

0°C의 조건에서 실험하였다. 또한, 균일한 도금면과 도금 안정성을 얻기 위한 안정제를 첨가하였으며, 최종적으로는 도금 전처리 공정 시 초음파 처리도 병행하였다(그림 4(c)).

제작된 구조물은 도금틀과 Ti-Au 금속층을 제거한 뒤(그림 4(d)), 최종적으로 KOH 용액을 이용한 (100) 실리콘의 이방성 습식 식각으로 가동부가 형성되게 된다.(그림 4(e)).

4. 실험 결과

그림 5는 온도를 60°C, pH를 10으로 고정한 무전해 니켈 도금액에서 안정제의 농도를 변화시키며 도금을 수행한 구조물의 주사 전자 현미경(scanning electron microscope, SEM) 사진이다.

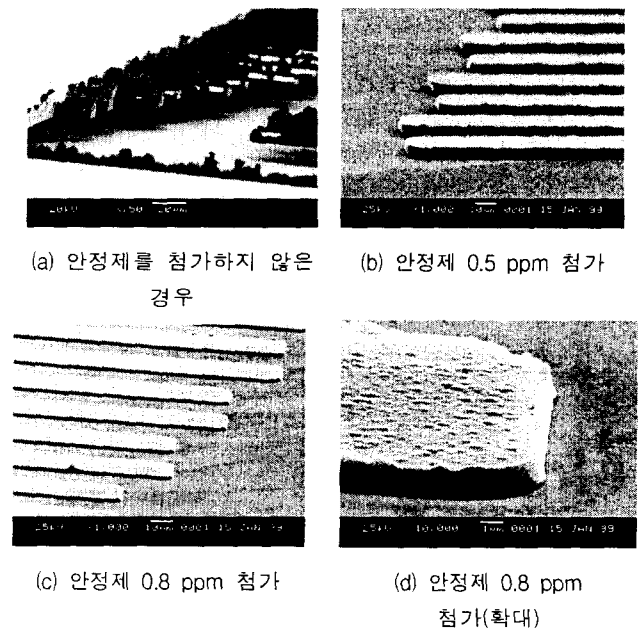
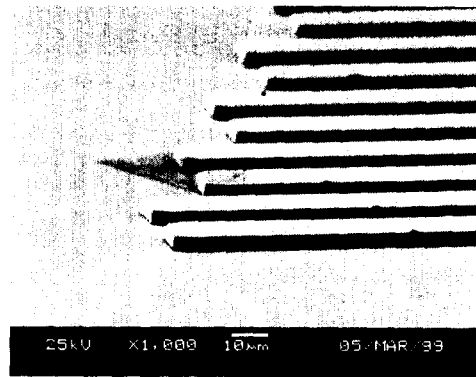


그림 5 안정제의 양을 변화시켰을 때의 도금된 니켈 구조물 Fig. 5 Fabricated nickel structures with an addition of the stabilizer

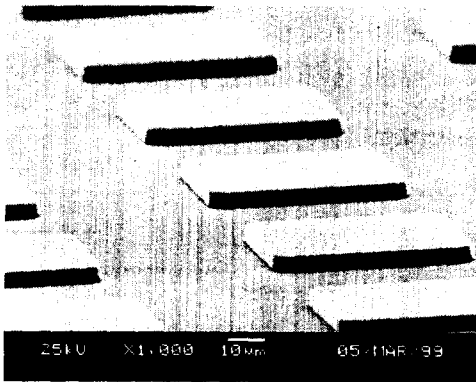
안정제를 첨가하지 않은 경우, 그림 5(a)와 같이 원하는 패턴 이외에도 도금틀 벽면에 도금이 진행되는 것이 관찰되었으며, 이는 부도체에도 도금이 가능한 무전해 도금의 특성을 반영하는 것이다. 그림 5(b)와 그림 5(c)는 안정제의 양을 0.5ppm과 0.8ppm로 증가시켰을 경우, 도금 구조물의 형상을 나타낸 SEM 사진이며, 그림 5(d)는 안정제를 0.8ppm 첨가하였을 경우 형성된 도금 구조물을 확대한 사진이다. 안정제를 첨가하였을 경우, 도금틀 벽면에서의 도금이 억제되어, 원하는대로 균일하게 성장된 미세 니켈 구조물을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 하지만, 실험에 사용된 도금액에서의 도금 속도는 안정제의 양이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이며, 안정제를 0.5ppm 첨가하였을 때의 도금 속도는 대략 5 μ m/hr로 측정되었다

그림 5(d)와 같이 안정제의 양이 증가하여도 부분적으로 도금틀 벽면에 도금이 되는 현상이 발생하였으며, 이는 전처리 과정에서 팔라듐 입자가 바닥면뿐만 아니라 도금틀의 옆

면에도 부분적으로 촉매 표면을 형성한 결과라고 생각된다. 이를 해결하기 위하여 무전해 도금 직전 단계에서 초음파 처리를 하여 전처리 공정 후에 남아있는 도금을 옆면의 팔라듐 입자를 제거하였다. 추가적인 초음파 처리 공정을 거친 후에 무전해 니켈 도금을 수행한 결과 그림 6과 같이 원하는 패턴에 균일하게 성장된 무전해 니켈 도금 구조물을 얻을 수 있었다.



(a) 외팔보(cantilever) 형태의 니켈 구조물

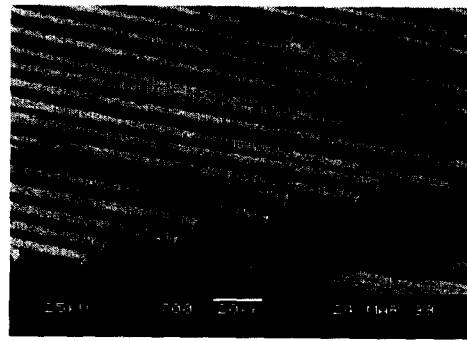


(b) 사각형 기둥 형태의 니켈 구조물

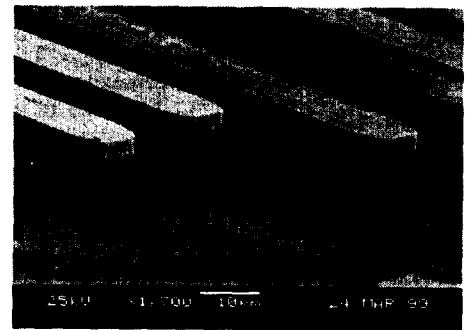
그림 6 0.5 ppm의 안정제를 첨가하고 초음파 전처리를 했을 때의 니켈 구조물

Fig. 6 Fabricated nickel structures pre-treated with ultrasonic wave and added 0.5 ppm stabilizer

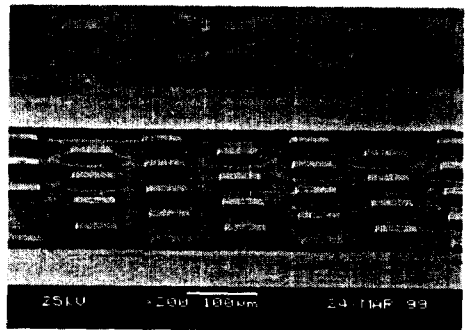
제작된 니켈 무전해 도금 구조물은 가동부 형성을 위해 KOH 수용액에서 습식 식각한다. 식각에 사용된 KOH 수용액의 농도는 41wt.%이며, 온도는 60°C 이다. 이 때 (100) 면의 식각 속도는 대략 0.5 μ m/min이므로 깊이 방향으로의 식각 속도는 0.5 μ m/min, 옆방향으로의 언더컷 속도 역시 0.5 μ m/min이다. 구조물 가동부와 고정부의 폭을 감안하여, 30분동안 KOH 용액에서 이방성 습식 식각을 수행하였으며, 그림 7은 이러한 제작 공정을 거쳐 최종적으로 제작된 구조물의 SEM 사진이다. 제작된 구조물은 20 μ m의 폭, 5 μ m 두께와 바닥면에서 15 μ m 떠 있는 외팔보 구조물(그림 7(a), (b))과 사각형 구조물(그림 7(c), (d))이며, 시편 전 영역에서 비교적 균일한 구조물이 형성되었음을 확인하였다(그림 7(c)). 또한, 그림 7(d)에서와 같이 구조물을 지지하는 실리콘 기둥은 옆면이 수직함을 확인할 수 있으며, 폭 방향의 식각이 깊이 방향의 식각만큼 진행되었음을 알 수 있다



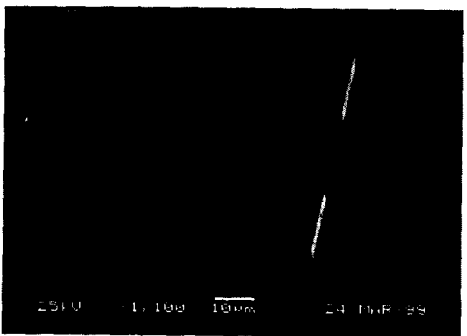
(a) 실리콘 식각 후 릴리즈된 외팔보 구조물



(b) (a)의 외팔보 구조물을 확대한 사진



(c) 실리콘 식각 후의 사각형 니켈 구조물



(d) 사각형 니켈 구조물과 실리콘 기둥 사진

그림 7 무전해 도금과 (100) 실리콘의 이방성 습식 식각으로 제작된 가동 구조물

Fig. 7 Freestanding structure fabricated by electroless plating and (100) silicon anisotropic wet etching

5. 니켈 머리빗 모양 구조물의 제작

앞서 제시한 무전해 니켈 도금 결과와 실리콘 이방성

습식 식각을 이용한 가동 구조물 제작 기법을 이용하여 실제 MEMS에서 가장 폭넓게 이용되고 있는 빗모양 구조물 (comb structure)을 제작하였다. 기존 실험에서 도금틀로써 사용한 후막 감광제인 PMER은 미세 패터닝에는 적합하지 않으므로, 수 μm 의 선폭을 갖는 미세 빗모양 구조물을 제작하기 위한 도금틀로는 AZ4562를 사용하여 미세 패턴 도금틀을 형성하였다. AZ4562는 500rpm에서 5초, 4000rpm에서 35초간 코팅한 후 115 $^{\circ}\text{C}$ 의 핫플레이트에서 45초간 열처리하였다. 열처리 후의 기판을 UV 노광기에서 12mW의 광량으로 21초간 노광하여 그림 8과 같은 7 μm 두께의 도금틀을 제작하였다.

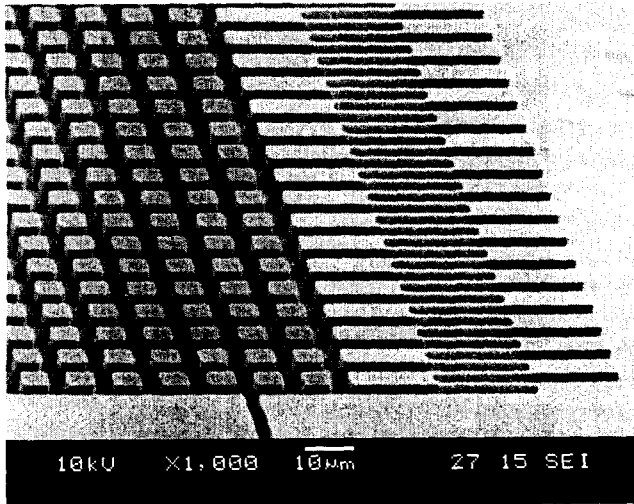
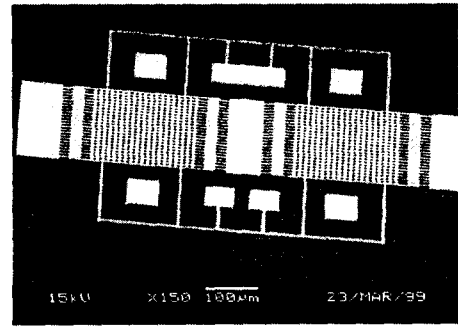


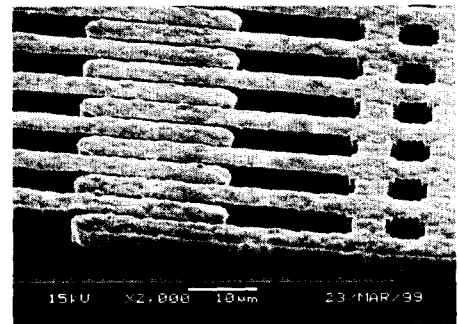
그림 8 AZ4562를 이용하여 제작된 빗모양 구조물 용 도금틀
Fig. 8 Electroplating mold for comb structure using AZ4562

구조물의 제작에 사용된 무전해 니켈 도금액은 온도를 55 $^{\circ}\text{C}$, pH를 10으로 고정하였으며, 안정제를 0.5 ppm 첨가하였다. 또한, 미세 패턴 도금틀의 경우 이전의 실험과는 달리 전처리 단계에서의 초음파 처리로 인하여 형성된 도금틀이 손상되는 현상이 관찰되었으며, 이를 방지하기 위하여 초음파 세척 단계는 생략하였으며, 탈이온수에서 충분히 세척하였다. 무전해 니켈 도금은 1시간 동안 수행하였으며, 제작된 구조물의 두께는 4.3 μm 이다(그림 9). 제작된 빗모양 구조물은 패턴 전체에 대해 고르게 도금이 진행되었으며(그림 9(a)), 빗모양 전극의 폭은 4 μm , 전극간의 간격은 1 μm 이다. 그림 9(b)에서와 같이, 제작된 빗모양 구조물은 앞서 보인 그림 6의 결과보다 표면이 균일하지 않으며, 이는 전처리 단계에서 초음파 처리를 하지 않은 차이로 인해 생긴 현상이다.

무전해 도금으로 제작된 니켈 빗모양 구조물을 릴리즈하기 위하여 60 $^{\circ}\text{C}$ 의 41 wt.% KOH 수용액에서 5분간 습식 식각하였다. 그림 10은 무전해 니켈 도금과 (100) 실리콘의 이방성 습식 식각을 이용하여 실제 제작된 미세 빗모양 구조물의 SEM 사진이다. 그림 10(b)에서와 같이, 5분간의 (100) 실리콘 습식 식각 공정 후 빗모양 구조물 가동부의 바닥면에서 2.5 μm 떠 형성되었음을 확인하였다.

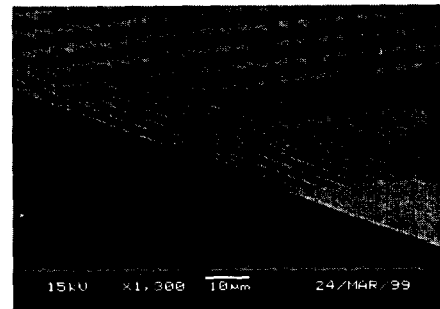


(a) 무전해 도금된 니켈 빗모양 구조물

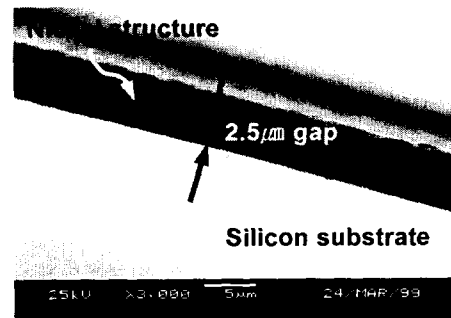


(b) (a)를 확대한 사진

그림 9 무전해 니켈 도금으로 제작된 미세 니켈 빗모양 구조물
Fig. 9 Micro nickel comb structure fabricated by nickel electroless plating



(a) 릴리즈 된 빗모양 니켈 구조물



(b) 빗모양 전극 부분의 확대 사진

그림 10 무전해 도금과 (100) 실리콘의 이방성 습식 식각으로 제작된 빗모양 니켈 가동 구조물의 SEM 사진
Fig. 10 SEM photographs of the nickel freestanding comb structure fabricated by nickel electroless plating and (100) silicon anisotropic wet etching

6. 결 론

본 논문에서는 무전해 니켈 도금과 (100) 실리콘 이방성 습식 식각 방법을 이용하여 미세 가동 구조물을 제작하는 새로운 공정을 제안하였으며, 미세 가동 구조물을 니켈의 무전해 도금으로 제작하기 위한 무전해 도금 공정을 연구하였다. 무전해 니켈 도금으로 미세 구조물을 만들기 위해서는 도금 전처리 작업과 도금액의 안정제 농도가 매우 중요한 인자가 됨을 알 수 있었다. 무전해 니켈 도금액에 안정제를 0.5 ppm 정도의 소량을 첨가할 경우, 원하는대로 균일하게 제작된 구조물을 얻을 수 있었으며, 도금 전처리 단계에서의 초음파 세척 및 탈이온수 세척으로 도금 균일도 및 도금 안정성을 향상시킬 수 있었다. 무전해 니켈 도금액은 nickel sulfate, sodium hypophosphite를 기반으로 하여 55°C~60°C의 온도와 pH 10인 조건에서 공정에 사용되었으며, 이 때의 도금 속도는 4.3~5 μ m/min이었다. 안정제로는 thiourea가 사용되었다. 무전해 도금된 니켈 구조물은 기판으로 사용된 (100) 실리콘을 KOH 수용액에서 이방성 습식 식각하여 릴리즈하였으며, 이 때 (100) 실리콘은 <110> 방향과 45° 기울인 <100> 방향으로 정렬하여 바닥면과 수직하게 식각된 (100) 면이 나타나게 하였으며, 식각 시간을 조절하여 바닥에서의 구조물의 높이를 조절 가능하였다. 무전해 니켈 도금과 (100) 실리콘의 이방성 습식 식각을 이용하여 제작된 미세 구조물은 외팔보 구조물의 경우 폭 20 μ m, 두께 5 μ m, 바닥과의 간격 15 μ m이었으며, 빗모양 구조물은 4 μ m 폭과 1 μ m의 간격, 4.3 μ m 두께의 빗모양 전극을 가지며, 5분간 KOH 수용액에서 이방성 습식 식각을 하여 바닥면과 2.5 μ m의 간격으로 릴리즈되었다.

본 연구에서 제안된 무전해 도금과 (100) 실리콘의 45° 기울어진 식각 특성을 결합한 공정을 이용하면, 바닥면에서 높이 때 있는 미세 구조물을 쉽게 제작할 수 있으며, 기존의 희생층을 이용한 표면 미세 가공 기술로는 어려웠던 새로운 구조물의 제작에 응용될 수 있을 것이다. 또한, 무전해 도금 공정은 기존의 전해 공정에 비해 제조 공정이 간단하고, 균일한 도금막을 얻을 수 있으며, 기계적 성질이 우수한 미세 구조물의 제작에 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국 과학 재단의 연구비 지원(96-0102-10-01-3)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] H. Guckel, "High-Aspect-Ratio Micromachining Via Deep X-Ray Lithography," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 86, No. 8, pp. 1586-1593, 1998
- [2] H. Miyajima, and M. Mehregany, "High-Aspect-Ratio Photolithography for MEMS Applications," *Journal of Microelectromechanical Systems*, Vol. 4, No. 4, pp. 220-229, 1995
- [3] 허진, "무전해 니켈도금을 이용한 마이크로구조물 제조에 관한 연구," *홍익대학교 금속·재료공학과 석사논문*, 1999
- [4] S. Furukawa, M. Mehregany and C.C. Liu, "Electroless plating of nickel on silicon for fabrication of high-aspect-ratio microstructures," *Sensors and Actuators*, Vol. A56, 1996, pp. 261-266
- [5] S. Furukawa, H. Miyajima, M. Mehregany and C.C. Liu, "ELECTROLESS PLATING OF METALS FOR MICROMECHANICAL STRUCTURES," *Transducers '93*, 1993, pp. 66-69
- [6] S. Roy, S. Furukawa and M. Mehregany, "Determination of Young's modulus and residual stress of electroless nickel using test structures fabricated in a new surface micromachining process," *Microsystem Technology*, Vol. 2, 1996, pp. 92-96
- [7] 조대현, 한혜원, 박경호, 최부연, 이용일, 이종현, 유형준, 유지범, 장현구, "MEMS용 미세 전도성 패턴 형성을 위한 무전해 구리 도금," *대한 전기학회 MEMS 연구회 학술 발표회*, 1996, pp. 81-89
- [8] 백창욱, 김용권, "자외선 사진 식각과 이중 도금을 이용한 가동 마이크로구조물의 제작," *대한 전기학회 MEMS 연구회 학술 발표회*, 1998, pp. 181-190
- [9] G. O. Mallory, J. B. Hajudu, *Electroless Plating: Fundamentals and Applications*, *Am Electroplaters & Surf. Fin. Soc.*, 1990
- [10] G. T. A. Kovacs, N. I. Maluf and K. E. Petersen, "Bulk Micromachining of Silicon," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 86, No. 8, 1998, pp. 1536-1551
- [11] L. Rosengren, L. Smith and Y. Backlund, "Micromachined optical planes and reflectors in silicon," *Sensors and Actuators*, Vol. A41-A42, 1994, pp.330-333

저 자 소 개



김 성 혁 (金 聲 赫)

1996년 서울대 공대 전기공학부 졸업. 1998년 동 대학원 졸업(석사). 1998 - 현재 동 대학원 전기공학부 박사 과정

Tel : 02-888-5017, Fax : 02-873-9953

E-mail : popinjay@plaza1.snu.ac.kr



허 진 (許 振)

1995년 홍익대 금속·재료공학과 졸업. 1999년 동 대학원 졸업 (석사). 1999년-현재 KIST 위촉연구원



김 용 권 (金 容 權)

1983년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 졸업(석사). 1990년 동경대 대학원 졸업(공학). 1990년 히다찌 중앙 연구소 연구원. 1992년 - 현재 서울대 전기공학부 부교수

Tel : 02-880-7440 Fax : 02-873-9953

E-Mail : yongkkim@plaza.snu.ac.kr



이 재 호 (李 宰 鎬)

1982년 서울대 공대 금속공학과 졸업. 1984년 동 대학원 졸업(석사). 1993년 Colorado School of Mines 졸업(공학). 1994년-현재 홍익대 금속·재료공학과 교수

Tel : 02-320-1483 Fax : 02-3142-1711

E-Mail : jhlee@wow.hongik.ac.kr