

◆특집◆ 나노/마이크로 하이브리드 패턴 가공 및 응용기술
비이온계 계면활성제기반 고순도 알루미늄 습식식각을
통한 균일한 마이크로패턴 어레이 제작

장웅기*, 전은채**, 최두선**, 김병희*, 서영호*.#

(#, * 강원대학교 기계메카트로닉스공학과, ** 한국기계연구원 나노공정연구실)

Fabrication of uniform micropattern arrays using nonionic
surfactant-based wet etching process of high purity aluminum

Woong-Ki jang*, Eun Chae Jeon**, Doo Sun Choi**, Byeong Hee Kim*, Young Ho seo*.#

(Received 4 August 2014; accepted 20 August 2014)

ABSTRACT

In this paper, the effects of a nonionic surfactant on the etch uniformity and the etch profile during the wet-etching process of high-purity aluminum were investigated for the fabrication of uniform micropattern arrays. To improve the surface roughness of a high-purity aluminum plate, a mechanical lapping process and an electrolytic polishing process were used. After electrolytic polishing process, the surface roughness, Ra, of the high-purity aluminum plate was improved from 1.25 μm to 0.02 μm . A photoresist was used as an etching mask during the aluminum etching process, where the mixture of phosphoric acid, acetic acid, nitric acid, a nonionic surfactant and water was used as the aluminum etchant. Different amounts of the Triton X-100 nonionic surfactant were added to the aluminum etchant to investigate the effect of a nonionic surfactant during the wet-etching process of high-purity aluminum. The etch rate and the etch profile were measured by an optical interferometer and a scanning electron microscope.

Key Words : Nonionic surfactant(비이온계 계면활성제), Wet etching(습식식각), High purity aluminum(고순도 알루미늄), Micropattern arrays(미세패턴 어레이)

1. 서 론

최근 디스플레이 및 조명 등의 광학산업 발달로 각각의 제품의 특성에 따라 광학적 역할을 수행할 수 있는 다양한 미세패턴의 설계와 제작에 관한 연구가 이루어지고 있다. 이런 연구는 정보통신 분야, 의료, 항공우주산업의 발전과 함께 휴대폰, 디지털 카메라, 의료장비 등의 분야에서 사용되고 있으며, 표면 구조색(structural coloring)을 구현하는 기술분야에서 각광을 받고 있다.^[1-2] 절

* Dep. of Mechatronics Engineering, Kangwon National University

Corresponding Author :

Dep. of Mechatronics Engineering, Kangwon National University

E-mail : mems@kangwon.ac.kr

** Dep. of Nano Manufacturing Technology, KIMM

삭기술을 이용한 미세패턴 가공방법으로는 기계가공, 미세방전, 집중이온빔, 레이저 등을 이용한 방법이 있다.^[3-4] 그러나 상기 방법은 유연성이나 곡면가공성은 좋으나 높은 가공에너지를 필요로 하며, 가공 후 잔유물 생성 및 가공 표면의 품위 저하 등의 문제점이 발생한다. 또한 이러한 가공을 통해 제작된 미세패턴을 몰드로 사용하는 성형기술은 미세접촉인쇄(micro-contact printing), 미세주조/각인(micro-molding/imprinting) 등이 있으며^[5-7] 성형재료로는 고분자나 금속을 이용하지만, 일반적으로 형상 치수의 정확성, 이형(relase) 공정시 형상 변형 등이 문제로 나타나고 있다. 주사 현미경(scanning microscope)을 이용한 미세가공방법은 저에너지로 저온공정에서 극미세 패턴 및 구조를 제작할 수 있는 장점이 있으나 패턴 성형이나 구조물 제작을 위한 공정 속도가 매우 느리고, 재료의 한계 및 진공/전기장 등을 위한 부가 설비가 필요하다는 단점을 갖고 있다.^[8-11] 본 연구에서는 구조색 구현을 위해 마이크로패턴 표면에 나노패턴이 형성된 계층구조물을 형성하기 위하여 마이크로패턴을 가공한 후, 알루미늄 양극산화공정을 통해 마이크로패턴 위에 나노패턴을 제작하고자 하였다. 그러나 알루미늄 양극산화공정을 통한 나노패턴제작은 99.999% 이상의 고순도 알루미늄 기판을 이용해야 하므로 가공잔여물이 발생하는 기존의 기계가공, 방전가공이 아닌 화학적 습식식각 공정을 통해 마이크로패턴을 제작공정을 수행하였다. 또한, 알루미늄 습식식각 공정의 균일성 및 식각 프로파일을 제어하기 위하여 비이온계 계면활성제를 식각액에 첨가하여 그 영향을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 고순도 알루미늄 표면처리

마이크로패턴 어레이를 제작한 후, 양극산화공정을 통해 나노패턴을 제작하기 위하여 고순도 알루미늄 기판(99.999%, 5 N)을 사용하여 마이크로패턴을 제작해야 한다. 알루미늄 합금의 인장항복강도는 200 ~ 600 MPa 정도인 반면에, 고순도 알

루미늄의 인장항복강도는 7 ~ 11 MPa 정도로 낮다.^[12] 이와 같은 낮은 항복강도로 인해 절삭가공을 통한 고순도 알루미늄의 미세패턴 제작은 어렵게 된다. 따라서 본 논문에서는 알루미늄 식각공정을 통해 마이크로패턴 제작하고자 하였다. 일반적으로 고순도 알루미늄 기판의 표면은 매우 거칠어 식각공정을 통한 마이크로패턴 제작시 패턴의 정밀도를 떨어뜨리므로 표면 전처리를 통하여 알루미늄 표면거칠기를 낮추었다. Fig.1과 같이 기계적 랩핑과 전해연마를 통해 표면 전처리를 수행하였다. 표면 전처리 전후의 고순도 알루미늄 기판의 표면거칠기를 분석하기 위해 중심선 평균 거칠기, R_a ,와 최대높이, R_{max} ,를 측정하였다. Fig.1(a)와 같이 표면처리 전 고순도 알루미늄 기판의 R_a 와 R_{max} 는 각각 1.25 μm 와 11.62 μm 측정되었으며, 1 μm 입자를 이용한 기계적 랩핑 이후 R_a 와 R_{max} 는 Fig.1(b)와 같이 0.14 μm 와 5.75 μm 로 향상되었다. 그러나 파우더를 사용한 연마공정은 표면의 베일비 레이어(beilby layer) 같은 가공 변질층이 발생하고, 연마과정에서의 스크래치, 불순물 등의 여러 가지 결함이 발생하므로 이러한 결함을 줄여 더욱 양호한 표면을 얻기 위하여 화학적으로 안정된 표면을 얻을 수 있는 전해연마공정을 추가로 수행하였다.^[13] 전해연마공정은 과염소산(perchloric acid, HClO_4)과 에탄올(ethanol, C_2H_6)을 4:1의 무게비로 섞은 전해액을 사용하였으며, 대전극은 백금을 사용하였다. 전해연마 공정 조건은 -5°C의 조건에서 20 V의 전압을 20분 동안 인가하며 수행을 하였다. 또한 전해연마 시 교반기를 작동하여 전해액이 잘 순환되도록 하였다. 전해연마공정을 수행한 결과 Fig.1(c)에서 보듯이 고순도 알루미늄 기판의

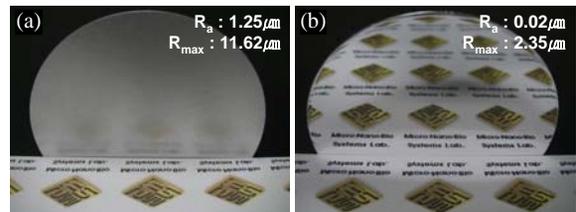


Fig. 1 Photographs of surface treated high purity aluminum: (a) Before surface treatment, (b) After mechanical lapping and electrolytic polishing process.

R_a 와 R_{max} 는 각각 $0.02 \mu\text{m}$ 와 $2.35 \mu\text{m}$ 로 향상시켰다.

2.2 습식식각 공정 및 식각특성 분석

고순도 알루미늄의 식각특성을 분석하기 위하여 패턴의 직경이 $5 \mu\text{m}$, $10 \mu\text{m}$, $15 \mu\text{m}$, 그리고 $20 \mu\text{m}$ 인 원형 마이크로패턴을 설계하였으며, 모든 패턴은 육각어레이로 배치하였다. 패턴 중심간 간격은 직경에 상관없이 모두 $40 \mu\text{m}$ 가 되도록 설계하였다.

습식식각을 통해 고순도 알루미늄 기판 위에 마이크로패턴을 제작하기 위한 공정순서도를 Fig.2에 나타내었다. 표면 전처리를 통해 표면거칠기를 향상시킨 고순도 알루미늄 기판 표면에 Fig.2(a)와 같이 포토리소그래피를 통하여 감광제를 이용하여 마이크로패턴 어레이를 형성하게 된다. 감광제로 사용된 AZ GXR-601(AZ Electronic)은 알루미늄 습식식각 공정에서 식각방지층으로 사용된다. 이후 노출된 알루미늄 기판은 식각액을 통해 식각하고 최종적으로 식각된 마이크로패턴의 형상은 Fig.2(c)와 같이 감광제를 제거하고 난 뒤 관찰하였다.

Fig.3은 고순도 알루미늄 기판 위에 형성된 감광제 마이크로패턴을 나타내고 있다. 형성된 감광제의 두께는 약 $1 \mu\text{m}$ 정도로 측정되었으며, $5 \mu\text{m}$, $10 \mu\text{m}$, $15 \mu\text{m}$, 그리고 $20 \mu\text{m}$ 로 설계된 패턴은 제작 후 $5.5 \pm 0.1 \mu\text{m}$, $10.0 \pm 0.2 \mu\text{m}$, $15.6 \pm 0.2 \mu\text{m}$, 그리고 $20.0 \pm 0.3 \mu\text{m}$ 의 크기로 측정되어, 설계된 패턴과 유사하게 제작되었다.

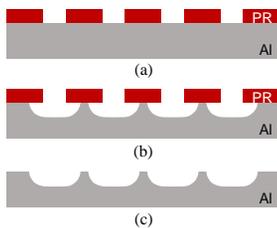


Fig. 1 Photographs of surface treated high purity aluminum: (a) Before surface treatment, (b) After mechanical lapping and electrolytic polishing process.

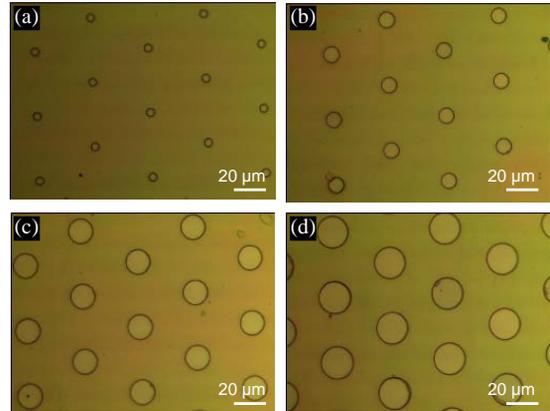


Fig. 3 Microscope image of patterned photoresist on aluminum substrate: (a) Measured pattern size of $5.5 \pm 0.1 \mu\text{m}$, (b) Measured pattern size of $10.0 \pm 0.2 \mu\text{m}$, (c) Measured pattern size of $15.6 \pm 0.2 \mu\text{m}$, (d) Measured pattern size of $20.0 \pm 0.3 \mu\text{m}$.

알루미늄 습식식각에 사용된 식각액은 참고문헌^[14]을 통하여 식각률이 낮은 조합을 선택하여 식각된 알루미늄 표면의 거칠기가 저하되지 않도록 하였다. 본 연구에 사용된 알루미늄 식각액은 인산(H_3PO_4), 아세트산(CH_3COOH), 질산(HNO_3), 탈이온수를 무게비 기준으로 16:1:1:2로 혼합한 용액을 사용하였다. 또한 알루미늄 식각 시 발생하게 되는 수소기체의 원활한 제거를 위한 비이온계 계면활성제인 Triton X-100 (Sigma-Aldrich)를 제조된 알루미늄 식각액에 무게비 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 그리고 1.0 wt%로 첨가하여 그 식각 특성을 분석하였다. 알루미늄 식각공정은 35°C 의 온도조건에서 100 rpm의 속도로 교반하면서 수행하였다.

Fig.4는 비이온계 계면활성제인 Triton X-100을 첨가하지 않은 알루미늄 식각액을 이용하여 6분간 식각공정을 수행한 뒤 식각방지층으로 사용된 감광제를 제거한 후 촬영한 전자현미경(SEM) 사진을 나타낸다. Fig.3과 같이 감광제 패턴은 잘 형성되어 있음에도 불구하고 계면활성제를 첨가하지 않은 식각액을 이용한 식각공정에서는 균일한 알루미늄의 식각이 이루어지지 않았음을 알 수 있다.

일반적인 식각액에서는 원활한 식각액의 순환

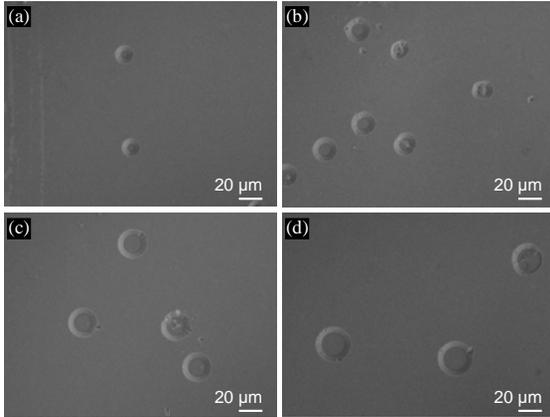


Fig. 4 SEM images of aluminum surface etched by aluminum etchant without Triton X-100: (a) 5 μm patterns, (b) 10 μm patterns, (c) 15 μm patterns, (d) 20 μm patterns. (Etch time = 6 min.)

을 위해 100 rpm으로 교반을 수행했음에도 불구하고 Fig.4와 같이 마이크로패턴의 크기와 상관없이 불균일한 알루미늄의 식각이 이루어졌는데, 이는 알루미늄 식각공정시 발생하는 수소기포가 Fig.5(a)와 같이 감광제 패턴사이에 트랩 되어 식각액의 공급을 방해하기 때문인 것으로 분석된다. 따라서 Fig.5(b)와 같이 알루미늄 식각액의 표면에 에너지를 낮추어 감광제 패턴사이에 식각액이 원활히 공급되도록 하는 방법으로 생성된 수소기포를 제거하고자 비이온계 계면활성제인 Triton X-100을 첨가하였다. 즉, 식각액에 비이온계 계면활성제를 첨가하게 되면 식각액이 이온으로 해리되지 않는 상태에서 식각액의 표면장력을 낮게 만들기 때문에, 알루미늄 표면에서 식각반응으로 생성되어 붙어있는 수소기포 사이로 식각액이 침투하여 수소기포를 알루미늄 기판에서 떨어뜨리므로 수소기포의 트랩이 발생하지 않게 된다.^[15-16] Fig.6은 Triton X-100이 0.8wt% 첨가된 식각액을 이용하여 고순도 알루미늄 기판을 식각한 예를 나타내는 전자현미경 사진이다. 마이크로패턴의 크기는 10 μm 직경의 원형패턴을 사용했으며, 식각시간은 초기 실험과 동일한 6분 동안 수행한 결과이다. Triton X-100을 첨가하지 않은 공정결과인 Fig.4(b)와 비

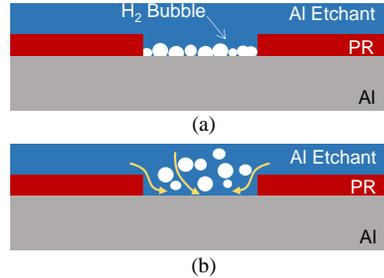


Fig. 5 Schematics of hydrogen bubble generation during aluminum etching process: (a) Hydrogen bubble entrapment in no surfactant added etchant, (b) Hydrogen bubble release in surfactant added etchant.

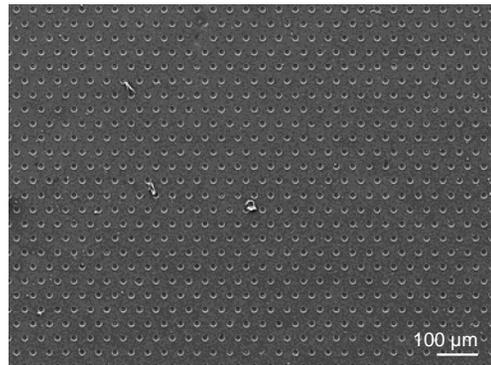


Fig. 6 SEM image of 10 μm pattern arrays on aluminum surface etched by aluminum etchant with 0.8 wt% Triton X-100. (Etch time = 6 min.)

교해보면 식각 균일성이 향상된 것을 알 수 있으며, 4인치 기판에 형성된 거의 모든 패턴에서 식각이 이루어졌음을 확인하였다.

계면활성제의 첨가를 통해 균일한 알루미늄 식각이 이루어졌으나, 계면활성제의 첨가함량이 알루미늄 식각공정 시 식각률(etch-rate)과 식각형상(etch-profile)에 어떠한 영향을 미치는지 분석하기 위하여 본 연구에서는 Triton X-100을 제조된 알

루미늄 식각액에 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 그리고 1.0 wt%의 비율로 혼합한 식각액을 이용하여 알루미늄 식각공정을 수행하였다. 먼저 알루미늄 식각률을 측정하기 위하여 앞선 실험과 동일한 35°C 온도에서 3, 6, 9, 12분 동안 식각을 수행하고 식각깊이를 백색광주사간섭법기반의 3차원 표면형성측정기(Nano System)를 이용하여 측정하였다. 최소 5개 이상의 패턴에서 식각깊이를 측정하고 식각시간으로 나누어 식각률을 계산하였다.

식각시간은 최대 12분으로 결정하였는데, 이는 식각공정시간이 14분을 초과하게 되면 식각방지층으로 사용된 감광제가 알루미늄 표면에서 박리되는 현상을 나타내어 명확한 식각깊이 및 식각형상을 측정할 수 없었기 때문이다. Fig.7은 마이크로패턴의 직경 및 Triton X-100의 첨가량에 따른 식각률에 대한 그래프를 나타낸다. 동일한 Triton X-100 함량에 대해서 4가지 서로 다른 크기의 마이크로패턴의 식각률의 평균은 막대그래프 가운데 표시하였다. 사용된 측정기의 분해능이 1 nm이므로 모든 데이터는 1 nm 단위 이하는 고려하지 않았다. 전체적으로 비이온계 계면활성제인 Triton X-100의 함량이 늘어날수록 식각률이 줄어드는 경향을 확인하였다. 이는 상기 계면활성제의 분자가 알루미늄에 달라붙어 알루미늄 식각액이 알루미늄에 접근하는 것을 지연 혹은 방해하기 때문이다. 특히 Triton X-100의 함량이 0.4 및 0.6 wt%인

경우에 식각률이 각각 192 ± 10 와 182 ± 11 nm/min로 0.2 wt%의 식각률인 218 ± 26 nm/min 보다 다소 감소하지만 모든 크기의 패턴에 대해 가장 작은 식각깊이의 편차를 나타냄을 확인할 수 있다. 반면 Triton X-100의 함량이 0.8 wt%를 초과하는 경우에 식각률이 감소되는 동시에 식각깊이의 편차가 증가하는 경향을 보인다. 따라서 균일한 식각을 위해서는 Triton X-100의 함량을 0.4 ~ 0.6 wt% 내외로 결정할 필요가 있다.

Triton X-100의 함량에 따른 식각형상(etch-profile)을 관찰하기 위해서 알루미늄의 식각깊이가 1 μ m 내외가 되도록 앞선 실험과 동일한 조건에서 6분간 식각공정을 수행한 후, 전자현미경을 통하여 식각된 형상을 관찰하였다. Fig.8은 제작된 4가지 마이크로패턴 중에서 직경이 5 μ m와 15 μ m인 패턴을 나타내고 있다. Fig.8에서 (a)와 (b), (c)와 (d), (e)와 (f), (g)와 (h), 그리고 (i)와 (j)는 각각 Triton X-100의 함량이 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 그리고 1.0 wt%에 대한 식각형상을 나타낸다. 전자현미경을 통해 관찰된 크기형상과 백색광주사간섭법기반의 3차원 표면형성측정기로 측정된 식각깊이를 바탕으로 Fig.9(a)에 정의된 것과 같이 식각방지층인 감광제의 초기 직경(D), 식각깊이(H), 측면방향 식각깊이인 식각바이어스(W), 식각된 마이크로패턴의 윗면 직경(T)와 바닥면의 직경(B)를 Triton X-100의 함량에 따라 각각 측정하였다. 식각깊이와 식각바이어스의 비인 W/H는 식각형상의 등방특성을 나타내는 척도이며, 식각된 패턴의 윗면 직경과 바닥면 직경의 비인 B/T는 식각된 패턴의 벽면형상의 수직도를 나타내는 척도이다.

W/H의 값은 그 크기가 클수록 깊이방향보다 측면방향의 식각정도가 큰 것을 의미하며, B/T의 값은 1에 가까울수록 수직면에 가까운 형상을 가지고 있음을 의미한다.

Fig.9(b)와 Fig.9(c)는 각각 식각형상의 등방특성을 나타내는 W/H 그래프와 식각된 벽면의 수직도를 나타내는 B/T 그래프를 나타낸다.

Fig.9(b)를 살펴보면 전체적으로 본 연구에서 사용한 알루미늄 식각액은 측면방향 식각이 큰 조성을 알 수 있다. 마이크로패턴의 크기에 상관없이 0.2, 0.4 그리고 1.0 wt%는 W/H비가 3.0 내

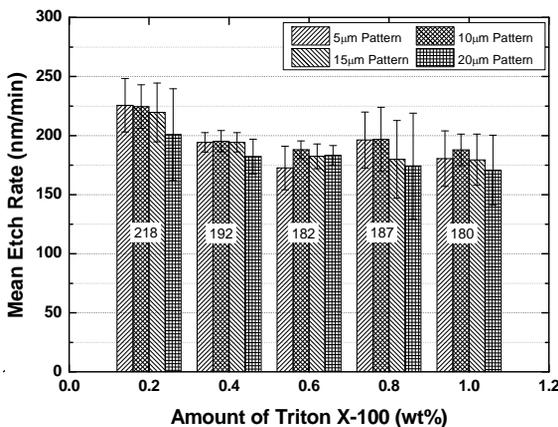


Fig. 7 Aluminum etch rate for different amount of Triton X-100 in etchant.

외로 측면방향 식각이 깊이방향 식각보다 3배정도 빠르게 일어난 결과를 보인다. 반면, 0.6 및 0.8 wt%의 W/H비는 마이크로패턴의 크기가 5 μm 인 경우를 제외하면 1.5 내외의 값을 보인다. 즉, 식각공정 시 0.6, 0.8 wt%의 조건에서 초기 설계된 패턴의 직경과 근접한 결과를 나타낸다. Fig.9(b)

에 나타난 W/H 그래프를 통하여 식각공정을 통해 제작된 마이크로패턴의 크기를 예측할 수 있으므로, 패턴의 초기설계시 유용한 자료로 활용이 가능할 것이다.

제작된 패턴 벽면의 수직도인 B/T비를 나타내는 Fig.9(c)를 살펴보면, 0.6과 0.8 wt%의 조성에서 수직도가 B/T비가 0.8 이상인 결과가 나타나고 있

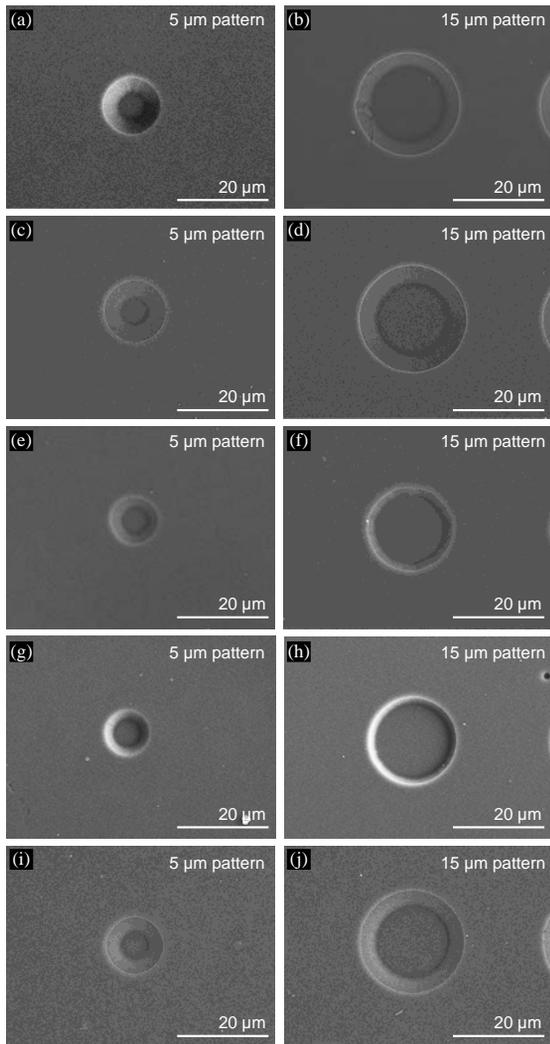


Fig. 8 SEM images of micropatterns etched by different composition of Triton X-100 in aluminum etchant: (a), (b) 0.2 wt%, (c), (d) 0.4 wt%, (e), (f) 0.6 wt%, (g), (h) 0.8 wt%, (i), (j) 1.0 wt%.

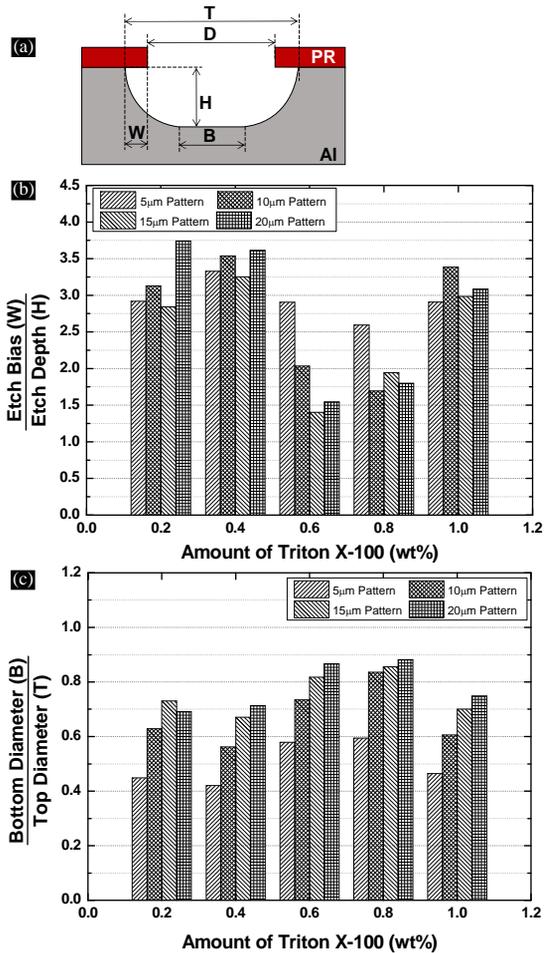


Fig. 9 Etch-profiles of micropatterns etched by aluminum etchant with different amount of Triton X-100: (a) Dimension definition of etched micropatterns, (b) Ratio of etch depth and etch bias, (c) Ratio of top diameter and bottom diameter of etched micropattern.

으며, 특히 0.8 wt%의 경우 10, 15, 20 μm 패턴에서 0.85이상의 높은 수직도를 나타내고 있다. 0.8 wt% 결과인 Fig.8(h)와 1.0 wt% 결과인 8(j)를 비교해 보면 이와 같은 특성을 확연히 구분할 수 있다. 또한, 5 μm 직경의 마이크로패턴에서는 모든 실험결과에서 B/T비가 0.6 이하로 나타났으며, 특히 0.2와 0.4 wt%에서는 0.4의 B/T비를 나타내고 있는데 이는 식각된 패턴의 벽면이 아주 완만하게 기울어 있음을 나타낸다. 이와 같은 결과는 Fig.8(a)와 8(c)의 전자현미경사진에서도 확인이 가능하다.

4. 결론

본 연구에서는 비이온계 계면활성제의 첨가가 고순도 알루미늄 기판 식각공정에서 식각균일성, 식각속도 그리고 식각형상에 미치는 영향을 분석하였다. 기계적 연삭이 어려운 고순도 알루미늄 기판은 랩핑과 전해연마를 통해 표면거칠기를 낮추었으며, 식각공정 동안 발생하는 수소기포는 비이온계 계면활성제인 Triton X-100의 첨가를 통해 원활히 제거 가능함을 확인하였다. 또한 Triton X-100의 첨가함량을 증가시킬수록 식각률이 최대 17%정도 감소하는 경향을 나타내었고, 식각깊이의 균일성은 0.4와 0.6 wt%의 조성에서 가장 높게 나타났으며, 식각깊이에 대한 측면방향 식각은 0.6과 0.8 wt%에서 가장 작게 나타났다. 식각된 패턴의 벽면 수직도는 0.8 wt%에서 가장 우수하게 나타났다. 습식식각을 통한 알루미늄 기판의 다양한 형상의 마이크로패터닝기술은 향후 광학 및 바이오기술에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

“이 논문은 산업통상자원부 ”100 nm~100 μm 나노복합구조물 응용제품 생산을 위한 금형가공 및 에너지 10%절감 성형시스템 개발”의 지원과 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구

과제(No. 20134030200240)입니다.

REFERENCES

- (1) Luo. X., Cheng. K., Webb. D., and Wardle. F., "Design of Ultraprecision Machine Tools with Applications to Manufacture of Miniature and Micro Components", J. Materials Processing Technology, Vol. 167, No. 2-3, pp. 515-528, 2005.
- (2) Oh. J. S., Kim. C. , Park. C. H., and Choi. Y. J., "Current Status and Technical Issues of Ultra-precision Machine Tools", J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 31, No. 3, pp. 189-197, 2014
- (3) Mckeown. P. A., "The Role of Precision Engineering in manufacturing of the Future", Ann. CIRP, Vol. 36, pp. 495-501, 1987.
- (4) Taniguchi. N., Nanotechnology, Oxford University Press, NewYork, 1996.
- (5) Xia. Y., Whitesides. G. M., "Soft Lithography", Angew. Chem. int. Ed., Vol. 37, pp. 550-575, 1998.
- (6) Schife. H., Jaszewski. R. W., David. C., and Gobrecht. J., "Nanostructuring of Polymers and Fabrication of Interdigitated Electrodes by Hot Embossing Lithography", Microelectron. Eng., Vol. 46, pp. 121-124, 1999.
- (7) Gottschalch. F., Hoffmann. T., Torres. C. M. S., Schulz. H., and Scheer. H. C., "polymer Issues in Nanoimprinting Technique", Solid State Electron., Vol. 43, pp. 1079-1083, 1999.
- (8) Snow. E. S., and Campbell. P. M., "Fabrication of Si nanostructures with an Atomic Force microscope", Appl. Phys. Lett., Vol. 64, pp. 1932-1934, 1994.
- (9) Minne. S. C., Adams. J. D., Yarliogliu. G., Manalis. S. R., Atalar. A., and Quate. C. F., "Centimeter Scale Atomic Force microscope Imaging and Lithography", Appl. Phys. Lett., Vol. 73, pp. 1742-1744, 1998.

- (10) Marrian. C. R. K., Perkins. F. K., Brandow. S. L., Koliski. T. S., Dobisz. E. A., and Calvert. J. M., "Low Voltage Electron Beam Lithography in Self-assembled Ultrathin Films with the Scanning Tunneling Microscope", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 64, pp. 390-392, 1994.
- (11) Ivanisevic. A., and Mirkin. C. A., "Dip-Pen Nanolithography on Semiconductor Surfaces", *J. Am. Chem. Soc.*, Vol. 123, pp. 7887-7889, 2001.
- (12) Polmear, I. J., *Light Alloys: Metallurgy of the Light Metals* (3rd ed.), Butterworth-Heinemann, 1995.
- (13) Lee. E. S., and Kim. C. G., "A Study on Machinig Characteristics of the Electropolishing of Aluminum alloy", *Transactions of the KSMTE.*, Vol. 12, No. 2, pp. 17-22, 2003.
- (14) Datta. A., Nam. K. T., Kim. S. h., and Kim. K. B., "Optimization of Al Interlayer Thickness for the Multilayer Diffusion Barrier Scheme in Cu Metallization", *Journal of applied physics*, Vol. 92, No. 2, pp. 1099-1105. 2002.
- (15) Graciaa. A., Lachaise. J., and MorelG. G., "Optimal Phase Behavior of Water Oilblend/surfactant Systems", *Prog. colloid polym. sci.*, Vol. 93, pp. 257-260, 1993.
- (16) Park. R. Y., and Kim. Y. H., "The Effects of Interfacial Properties of the Styrene/Water on the Styrene Latex Particle Properties using Triton X-100/SDS Surfactant Mixture", *J. of the Korean Oil Chemists. Soc.*, Vol. 27, No. 3, pp. 240-248, 2010.