

# 전처리 공정이 알루미늄 양극산화법에 의해 제조된 규칙적인 나노급 미세기공의 형성에 미치는 영향

論 文
54C-6-1

## Influence of Pre-Treatment on the Formation of Ordered Nano-Sized Pores Fabricated by Aluminum Anodization Method

李在洪\* · 李丙旭\*\* · 金昌教<sup>†</sup> · 洪秦守\*\*\*  
(Jae-Hong Lee · Byung-Wook Lee · Chang Kyo Kim · Chinsoo Hong)

**Abstract** - Nano-sized pore arrays were prepared by the self-organization processes of the anodic oxidation using the aluminum plate with 99.999% purity. Since the aluminum plate has a rough surface, the aluminum plate of 1mm thickness was anodized after the pre-treatments of pressing, mechanical polishing, thermal oxidation, chemical polishing, and electrochemical polishing. The diameter of the nano-sized pores and the thickness of barrier layer can be controlled by applied voltage. The thickness of alumina membrane can also be controlled by the anodizing current. The nano-sized pores with diameter of 60~120 nm, the distance between the nearest pores of 30~60 nm, and the thickness of 6~7 $\mu$ m were obtained by the anodic oxidation process. The pore widening process was employed for obtaining the one-channel with flat surface because the pores of the alumina membrane prepared by the fixed voltage method shows the structure of two-channel with rough surface.

**Key Words** : Aluminum Oxide Anodization, Chemical Polishing, Electrochemical Polishing, Pre-treatment, Nano-Sized Pore, Pore Widening

### 1. 서 론

일반적인 표면처리법으로 널리 사용되던 양극산화법은 알루미늄을 이용하여 수직하고 일정하게 배열된 수십내지 수백 나노미터 크기의 미세기공을 갖는 알루미늄 구조체를 제작할 수 있기 때문에, 현재 여러 분야에서 이를 적용시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-4]. 하지만 양극산화법을 일반적인 표면처리법으로 사용할 때 오는 달리, 이를 이용하여 일정한 크기와 수직한 구조를 갖는 나노급 미세기공을 제작하기 위해서는 많은 공정조건을 만족시켜야 하는 어려움이 있다. 따라서 재현성 있는 미세기공을 제작하기 위해서는 공정시 일어날 수 있는 여러 가지의 변수들을 제어할 수 있어야 하며[5], 항상 같은 조건을 유지시켜주는 것이 중요하다.

제작된 미세기공을 각각의 응용분야에 적용시키기 위해서는 크기나 형태를 제어할 수 있어야 한다. 즉, 미세기공을 원하는 형태로 제작할 수 있어야 하며, 이에 대한 공정조건으로 널리 알려진 방법은 다음과 같다.

먼저, 양극산화법은 전해질의 종류에 따라 황산법, 크롬산법, 옥살산법 및 인산법으로 나누어지며, 황산법을 사용할 경우에

는 전해질의 온도를 0 $^{\circ}$ C로, 나머지 다른 전해질들을 사용할 경우에는 18 $^{\circ}$ C의 온도를 유지시켜주어야 한다[5,6]. 다음으로, 전기를 공급하는 방법에 따라 정전압법과 정전류법으로 분류할 수 있다. 정전압에 의한 양극산화는 미세기공의 크기와 기공간의 거리 및 베리어층의 두께를 조절하기가 용이하며, 정전류에 의한 양극산화는 미세기공을 갖는 알루미늄 구조체의 높이를 제어하기가 용이하다[7]. 즉, 미세기공의 크기는 인가된 전압의 크기에 비례하며, 알루미늄 구조체의 높이는 인가된 전류량에 비례한다. 정전압법에 의해 생성된 미세기공은 시간에 따라 흐르는 전류가 변화하기 때문에 상단과 하단의 크기가 다른 2단 채널구조를 보이게 되며, 따라서 일정하고 수직적으로 형성된 단일 채널의 미세기공을 얻기 위해서는 pore widening 공정을 추가적으로 수행해야 한다[8]. 반면에 정전류법에 의해 형성된 미세기공은 단일 채널구조를 보이지만 미세기공간의 거리가 매우 가깝게 형성된다[9].

양극산화법을 이용하여 일정하고 자기배열된 나노미터 크기의 미세기공을 얻기 위해 가장 중요시 해야 할 점은 알루미늄의 표면 거칠기이다. 왜냐하면 표면 거칠기가 좋지 않은 알루미늄을 사용하여 양극산화를 수행할 경우에는 기공의 모양이 매우 불규칙적으로 형성되며, 또한 넓은 면적에서 동일한 구조를 갖는 기공을 얻을 수 없기 때문이다. 따라서 표면 거칠기가 좋지 않은 알루미늄을 이용한 양극산화를 수행할 경우에는 여러가지 전처리과정을 통하여 알루미늄의 표면을 평탄하게 만들어 준 후에 양극산화를 수행하여야 일정하고 수직적으로 자기배열된 미세기공을 얻을 수 있다.

본 연구에서는 알루미늄 판(99.999%)을 이용하여 양극산화

\* 교신저자, 正會員 : 順天鄉大 工大 電氣工學科 教授 · 工博  
E-mail : cckim1@sch.ac.kr

· 正會員 : 順天鄉大 工大 電氣工學科 博士課程

\*\* 學生會員 : 順天鄉大 工大 電氣工學科 碩士課程

\*\*\* 正會員 : 順天鄉大 自然大 物理學科 教授 · 工博

接受日字 : 2004年 11月 30日

最終完了 : 2005年 3月 30日

를 수행함으로써 수십에서 수백 나노미터 크기를 갖는 미세기공을 제작하였다. 알루미늄 판의 표면 거칠기를 양호하게 해주기 위한 여러 가지 전처리과정을 수행하였으며, 각 전처리과정이 끝날때 마다 표면 거칠기 상태를 관찰하였다. 전압의 크기를 조절함으로써 형성되는 미세기공의 크기, 기공간의 거리 및 베리어층의 두께를 관찰하였으며, 흐르는 전류량에 따른 알루미늄나 구조체의 높이를 관찰하였다. 또한 pore widening 공정을 수행함으로써 정전압에 의해 형성된 2중 채널구조의 미세기공을 단일 채널구조로 만들었으며, 인산처리에 따른 미세기공의 표면 변화 및 알루미늄나 구조체의 높이 변화를 관찰하였다. 또한 제작된 미세기공을 갖는 알루미늄나 구조체는 FE-SEM(S-4300, HITACHI)을 이용하여 기공의 크기와 구조 및 단면의 모양과 두께를 관찰하였으며, 알루미늄 및 알루미늄의 특성을 파악하기 위하여 XRD 분석을 하였다.

최근 나노기술의 발전에 따라서 많은 분야에서 나노기술이 이용되고 있다[10-14]. 규칙적으로 배열된 나노급 미세기공은 FED(field emission display)의 나노 팁을 형성하기 위해 이용될 수 있음이 보고되고 있다[14,15]. 본 연구에서 제작된 나노 기공은 추가적인 공정을 할 경우에 FED용 나노팁을 형성하는데 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

2. 실험

알루미늄 판을 이용한 양극산화법에 의해 수직하고 일정하게 배열된 나노미터 크기의 미세 기공을 제작하기 위해서는 알루미늄 표면의 거칠기 상태가 매우 중요하다. 따라서 알루미늄의 표면상태가 형성되는 미세 기공에 미치는 영향을 조사하기 위하여 각각의 전처리 과정이 진행되는 동안 각 공정마다 변화되는 알루미늄의 표면상태를 관찰하였으며, 전처리 과정에 의해 표면이 평탄화된 알루미늄 판과 전처리 과정을 거치지 않은 거친 표면의 알루미늄 판을 사용하여 정전압 양극산화를 수행함으로써 표면의 거칠기가 미세 기공을 형성하는데 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

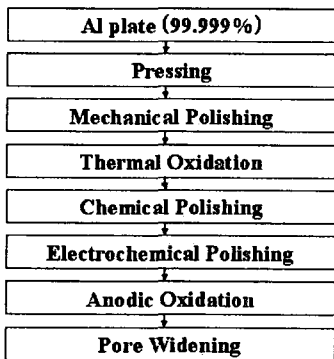


그림 1. 양극산화 공정도  
Fig. 1 Flowchart for aluminum anodization process

그림 1은 알루미늄판(aluminum plate)을 사용하여 미세기공을 형성하기 위한 양극산화의 공정도를 보여주고 있다. 그림 1에서 양극산화를 수행하기 이전에 프레스(pressing), 기계연마(mechanical polishing), 열산화(thermal oxidation),

화학연마(chemical polishing), 및 전해연마(electrochemical polishing) 등의 전처리 과정을 수행함으로써 알루미늄의 표면 거칠기를 좋게 해 준 다음에 양극산화를 실시하였다. 프레스는 알루미늄판의 거친 표면을 압력에 의해 평탄하게 해주기 위한 것으로, 5 ton의 압력으로 약 20min 정도 수행하였으며, 다음으로 폴리싱기를 이용하여 표면의 거칠기를 최대한 양호한 상태로 만들어 주기 위한 기계연마를 수행하였다.

알루미늄의 화학적 결합과 산화막 생성을 위해 공기분위기에서 580℃로 20min간 열산화를 실시하였으며, 열산화에 의해 자연적으로 형성된 산화막의 제거와 표면의 평탄화를 위하여 3.5 Vol% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>에 45g/l CrO<sub>3</sub>을 첨가한 용액으로 80℃에서 10min간 화학연마를 실시하였다. 그리고 마지막으로 H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>:H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:H<sub>2</sub>O (7:2:1)의 용액을 이용하여 2A의 전류로 전해연마(40℃, 15min)를 실시하였다. 이러한 전처리 공정을 수행함에 있어서 각각의 공정마다 세정작업을 실시하였다.

그림 1에서 전처리 공정마다 변화되는 알루미늄의 표면상태를 파악하였지만, 실제적으로는 각각의 전처리 공정마다 미세한 변수가 발생할 수 있기 때문에 위와 같은 결과가 나타나지 않을 수도 있다. 따라서, 전처리 공정을 거치는 동안 각 단계마다 표면상태를 파악하는 것이 중요하며, 만일 어느 단계에서 평탄한 표면 상태를 얻었다면 다음 단계의 전처리 공정을 생략해 주어도 된다. 다만 전처리 공정을 수행하는 동안, 표면의 거칠기는 최대한 평탄한 상태가 되어야 하며, 실제적으로 수 나노미터 이상의 거칠기를 허용하지 않는다. 또한 전처리 공정에서 표면을 최대한 평탄하게 만들 수 있는 공정은 산화막을 생성시켜 이를 제거시켜주는 경우로서, 이를 위해서는 열처리 이후의 화학연마나 전해연마 후의 인산처리 공정은 해주는 것이 좋다.

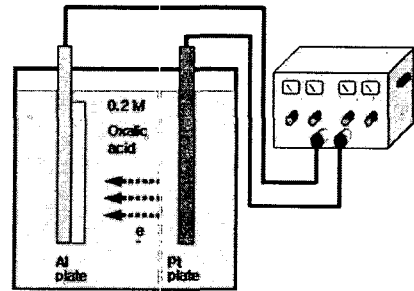


그림 2. 양극산화 실험장치도  
Fig. 2 Schematic diagram for apparatus of aluminum anodization process

그림 2는 양극산화를 하기 위한 실험장치도로서, 전해질의 종류 및 농도, 온도를 맞춘 후, 전원공급기의 양(+)극에 알루미늄(Al)을, 음(-)극에 백금(Pt)을 위치시킨 다음, 원하는 크기의 미세 기공을 제작하기 위한 전기량을 인가해주었다. 이때, 전해질로는 각각 0.2M의 옥살산과 0.1M의 크롬산을 사용하였으며, 온도는 항상 18℃를 유지시켰다.

전원공급장치에 의해 전기가 공급되는 동안 전해질을 교반시켜 주었다. 전해질은 증류수와 혼합되는 과정에서 모두 용해되지 않고 남아 있을 수 있으며, 또한 양극산화를 하는 동안에도 특정 지역의 농도가 높아질 수 있으므로 항상 일정농도를 유지시켜 주기 위해 교반을 시켜주는 것이 좋다.

### 3. 결과 및 고찰

알루미늄의 표면을 평탄하게 하기 위하여 전처리 공정을 수행하였으며, 전처리 공정을 수행한 후의 알루미늄 판과 전처리 공정을 생략한 알루미늄 판을 사용하여 양극산화를 수행함으로써 알루미늄의 표면상태가 미세 기공의 형성 과정에 미치는 영향을 조사하였다.

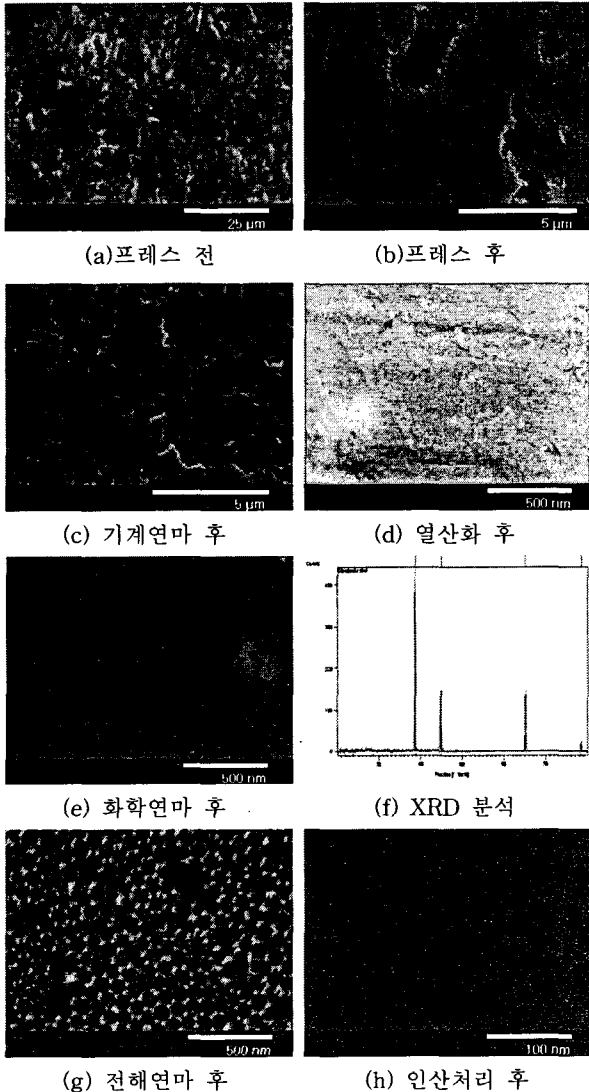


그림 3. 전처리과정에 의한 알루미늄 표면의 변화

Fig. 3 Variation of the aluminum surface due to pre-treatment process (a) before press process (b) after press process (c) after mechanical grinding (d) after thermal oxidation (e) after chemical polishing (f) XRD analysis (g) after electrochemical polishing (h) after phosphoric acid process

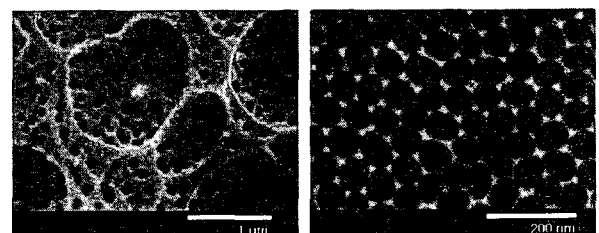
그림 3은 프레스 과정부터 전해연마 과정까지 각각의 단계마다 변화되는 알루미늄의 표면상태를 관찰한 사진으로, 그림 3(a)는 전처리과정을 하지 않은 알루미늄 판의 거칠고 부분적으로 흠이 있는 표면상태를 2,000배 확대된 사진으로 보여주고 있다. 그림 3(b)는 이러한 알루미늄을 이용하여 프레스를 실시한 후의 10,000배 확대된 사진으로, 표면에 존재하던 심한 굴곡이 사라지고 표면의 거칠기는 좋아졌지만 부

분적으로 흠이 남아 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 알루미늄 표면 상태에서 양극산화를 수행하게 되면 흠이 있는 부분에 이온이 집중되어 넓은 면적에서 고른 분포를 보이는 미세 기공을 얻기가 힘들다.

그림 3(c)는 기계연마를 실시한 후의 10,000배 확대된 사진으로, 막의 표면이 매우 불규칙적이기는 하지만 부분적으로 존재하던 흠이 사라지게 된다. 그 후, 열산화를 하게 되면 불규칙적이던 막의 표면이 고온에 의해 상당히 규칙적으로 변하게 되며, 이에 대한 것이 그림 3(d)에서 70,000배 확대된 사진을 보여주고 있다. 하지만, 공기분위기에서 고온으로 열산화를 실시하였기 때문에 알루미늄의 표면에 매우 얇은 산화막이 형성된다. 이러한 산화막을 제거하기 위하여 화학연마를 실시하였으며, 화학연마를 수행한 후의 표면을 70,000배의 사진으로 그림 3(e)에 나타내었다. 화학연마를 하게 되면 자연산화막이 제거되면서 표면의 거칠기가 매우 좋아지게 된다. 그림 3(f)는 화학연마과정이 끝난 후의 알루미늄을 X-선 회절분석한 결과로서, 열처리과정에서 생성된 자연산화막은 모두 제거되고 알루미늄 성분만 남아 있음을 보여주고 있다.

화학연마 이후에 전해연마를 수행하였다. 전해연마는 강산(acid)을 이용하여 알루미늄 판의 표면을 녹여 거칠기를 양호하게 만드는 과정으로, 온도가 너무 높거나, 시간을 적절하게 맞추어 주지 못하면 표면의 거칠기가 도리어 나빠질 수 있다. 또한 전해연마를 수행하게 되면 미세 기공이 형성된 매우 얇은 알루미늄나 막이 형성되는데, 이는 전해연마과정이 양극산화를 수행하는 것과 같은 효과를 나타내기 때문이며, 그림 3(g)는 70,000배 확대된 사진을 보여주고 있다. 마지막으로, 전해연마에 의해 형성된 미세 기공을 갖는 얇은 알루미늄나 막을 제거하기 위하여 저농도의 인산 처리를 하게 되면 알루미늄나 막이 모두 제거 되며, 300,000배로 확대된 사진을 나타내는 그림 3(h)에 볼 수 있듯이 표면의 거칠기가 매우 양호한 알루미늄 표면을 얻을 수 있다.

그림 4는 이와 같은 전처리 과정을 수행한 시편과 생략한 시편을 이용하여 양극산화를 수행한 결과를 보여주는 그림으로, 그림 4(a)는 전처리 과정을 생략한 시편으로 양극산화를 수행한 후 50,000배의 배율로 확대하여 본 결과, 매우 불규칙적인 미세 기공이 형성되었음을 알 수 있었으며, 전처리 과정을 통하여 표면의 거칠기가 매우 양호하게 된 알루미늄을 이용하여 양극산화를 수행한 후 100,000배의 배율로 확대하여 관찰한 결과 그림 4(b)에서 볼 수 있듯이 매우 일정하게 배열된 미세 기공을 얻을 수 있었다.



(a) 전처리 안 한 시편 (b) 전처리 한 시편

그림 4. 전처리 유무에 따른 양극산화 후의 미세 기공 형태

Fig. 4 Variation of the nano-sized pores after aluminum anodization with/without pre-treatment process

(a) with pre-treatment process  
(b) without pre-treatment process

전압의 크기를 조절함으로써 형성되는 미세기공의 크기를 조절할 수 있다. 알루미늄 판을 이용하여 양극산화에 의해 형성되는 미세기공은 인가전압에 약 13Å/V의 크기에 거의 비례하며, 기공간의 거리는 약 6Å/V의 크기에 거의 비례하고, 미세기공의 하단에 형성되는 베리어층(barrier layer)은 10Å/V의 크기의 비율로 비례하여 성장한다. 따라서 인가되는 전압의 크기를 높여주면 미세기공의 크기는 커지게 된다. 하지만 미세기공의 크기가 인가된 전압에 비례하더라도 수백 나노미터 크기를 갖는 미세기공을 제작할 경우에는 전압의 크기를 높여주는 동시에 전해질의 종류 및 농도를 바꾸어주는 것이 좋다. 왜냐하면 인가된 전압이 커질 경우, 흐르는 전류량도 같이 커지게 되므로 매우 큰 전류의 흐름으로 인해 양극산화의 시간조절이 매우 힘들어지게 되며, 또한 큰 전류가 흐름으로 인해 전해질의 온도가 급격한 상승을 보일 수 있기 때문이다. 따라서 전압이 증가하더라도 전류의 크기를 안정시키기 위해서는 전해질의 종류 및 농도를 바꾸어주는 것이 좋다.

그림 5는 전해질로 옥살산을 사용하여 인가된 전압의 크기를 조절함으로써 형성된 미세기공의 크기를 나타내고 있다. 그림 5(a)와 그림 5(b)는 각각 50V의 전압으로 5min, 100V의 전압으로 3분간 양극산화 한 후에 형성된 미세기공의 표면을 100,000배 확대하여 보여주는 그림으로, 형성된 미세기공은 각각 60nm와 120nm의 크기를 보였으며, 미세기공을 갖는 알루미늄 구조체의 높이는 10,000배 확대하여 본 결과, 각각 그림 5(c)와 그림 5(d)에서 보듯이 6.21µm와 7.39µm의 높이를 보였다.

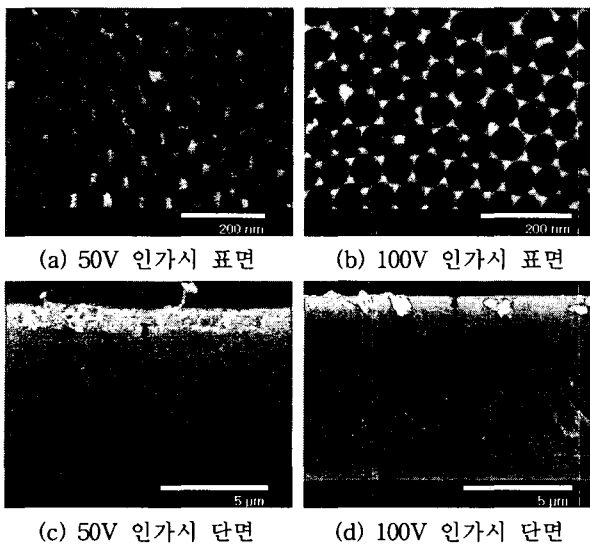


그림 5. 인가된 전압에 따른 미세기공의 크기 변화  
 Fig. 5 Variation of the nano-sized pores due to applied voltage (a) surface view after a voltage of 50 V was applied (b) surface view after a voltage of 100 V was applied (c) cross-sectional view after a voltage of 50 V was applied (d) cross-sectional view after a voltage of 100 V was applied

이때 50V의 전압을 인가한 경우에는 약 2mA/cm<sup>2</sup>의 전류밀도특성을 보였으며, 100V의 전압을 인가한 경우에는 약 4mA/cm<sup>2</sup>의 전류밀도특성을 보였다. 미세기공이 형성된 알루미늄 구조체의 높이는 인가된 총 전류량에 비례하여 성장하게 되

며, 따라서 50V의 전압을 인가한 경우에는 5min×2mA/cm<sup>2</sup>의 전류량이 공급되었고, 100V의 전압을 인가한 경우에는 3min×4mA/cm<sup>2</sup>의 전류량이 공급되었으므로, 100V의 전압을 인가한 경우에 더 높은 알루미늄 구조체가 형성되었다.

정전압법 양극산화에 의해 제작된 미세기공 표면은 매우 거칠게 되며, 2중 채널구조를 보이게 된다. 따라서 미세기공의 표면을 평탄하게 하며, 단일 채널구조로 바꾸어주기 위해서는 pore widening 공정을 해주어야 한다.

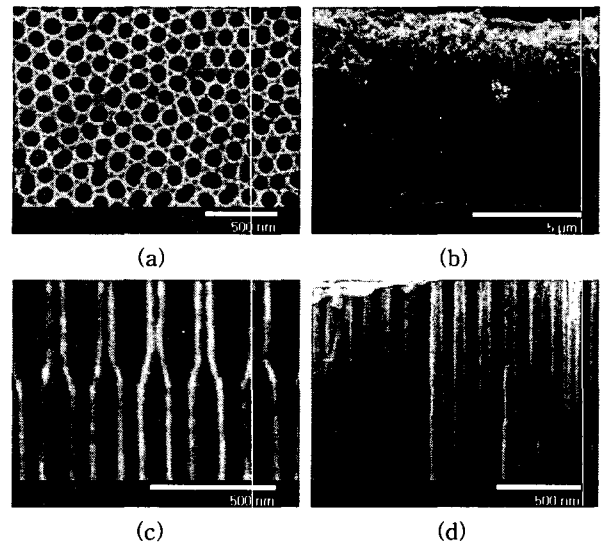


그림 6. pore widening에 의한 알루미늄 구조체의 변화  
 (a) pore widening 후 표면 (b) pore widening 후 단면  
 (c) pore widening 전의 채널구조 (d) pore widening 후의 채널구조  
 Fig. 6 Variation of aluminium structure due to pore widening process (a) surface after pore-widening process (b) cross-sectional view after pore-widening process (c) channel structure before pore-widening process (d) channel structure after pore-widening process

그림 6은 양극산화에 의해 형성된 그림 5(a)의 미세기공을 이용하여 pore widening을 수행한 후의 그림으로, 그림 6(a)에서 60,000배 확대하여 본 결과, 미세기공의 표면이 평탄하게 변화하였으며, 알루미늄 구조체의 높이도 그림 6(b)에서 10,000배 확대하여 본 결과, 6.21µm에서 5.66µm로 약간 줄어들었다. 또한 그림 6(c)에서 90,000배 확대하여 본 결과, 정전압법에 의해 형성된 미세기공은 2중 채널구조를 보이게 되며, pore widening 공정을 하게 되면 그림 6(d)에서 70,000배 확대하여 본 결과, 단일 채널구조로 변경되었다. pore widening은 저농도 인산을 이용하여 60℃의 온도에서 알루미늄 막을 제거하는 공정으로, 2중 채널구조의 윗 부분이 식각됨과 동시에 하단의 미세기공이 넓어지게 되므로, 미세기공의 크기는 변하지 않으면서 알루미늄 구조체의 높이는 줄어들게 되며, 또한 단일 채널구조로 변경되는 것이다. 이때 주의할 점은 저농도 인산에 의한 알루미늄 식각 시간의 조절로, 알루미늄 구조체는 전압의 크기에 의해 비례적으로 형성되기 때문에 형성된 알루미늄 구조체의 각각의 두께와 저농도 인산의 식각 시간을 알면 pore widening 공정의 시간을 쉽게 조절할 수 있다.

4. 결 론

알루미늄 양극산화법에 의해 형성된 수십 나노미터에서 수백 나노미터 크기의 미세기공 구조체는 알루미늄인 절연체로 변하게 된다. 이러한 나노미터 크기의 미세기공을 갖는 절연 구조체는 여러 분야에 응용할 수 있으며, 응용분야에 따라 기공의 지름이나 높이, 기공간의 거리 및 채널 모양을 원하는 형태로 제작할 수 있다.

미세기공을 제작하기 위한 모재로서 알루미늄 판(plate)을 사용하게 되면 기공의 지름과 높이의 비가 매우 큰 기공이 제작되며, 또한 알루미늄 판을 사용하는 경우에는 표면의 상태에 따라 전처리 과정을 수행해야 한다. 알루미늄 판을 이용하여 정전압 양극산화에 의해 제작된 미세기공은 단일 채널구조를 만들어 주기 위해 pore widening 공정을 수행할 경우, 저농도의 인산(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) 사용하여야 시간조절이 용이하게 되며, 이때 항상 일정한 온도를 유지시켜 주는 것이 중요하다. 알루미늄의 표면 평탄화를 위한 전처리과정과 양극산화 실험 결과는 다음과 같이 요약하였다.

1. 알루미늄 판은 표면 거칠기가 좋지 않기 때문에 양극산화에 앞서서 전처리과정을 통하여 표면을 평탄하게 해 주어야 수직하고 일정하게 정렬된 나노미터 크기의 미세기공을 얻을 수 있다.
2. 전처리과정으로는 프레스, 기계연마, 열산화, 화학연마, 전해연마를 수행하여야 하며, 표면 상태에 따라서 일부 과정을 생략할 수도 있다.
3. 프레스 및 기계연마 과정은 물리적인 표면 개선법으로, 가능한 한 항상 같은 조건을 유지해 주어야 하며, 열산화 과정은 고온을 이용한 방법으로, 가능한 온도의 편차를 줄여야 한다. 또한, 화학연마 및 전해연마 과정은 화학적인 표면 개선법으로, 연마재의 조성비 및 온도, 시간의 조건을 맞추는 것이 중요하다.
4. 전처리과정을 통하여 표면이 평탄화된 알루미늄 판을 이용하여 50V의 정전압 양극산화를 수행한 결과, 넓은 면적에서 일정한 간격을 유지하며 수직하게 성장된 60nm의 미세기공을 제작하였다.
5. 각 응용분야에 적합한 크기를 갖는 미세기공은 인가되는 전압 크기에 따라 조절할 수 있으며, 50V에서 60nm의 기공을, 100V에서 120nm의 기공을 제작하였다.
6. 인가전압이 큰 경우에는 흐르는 전류의 크기가 급격히 상승하여 전해질의 온도를 상승시킬수 있으므로 100V 이하인 경우에는 옥살산을, 이상인 경우에는 크롬산을 전해질로 사용함으로써 전압이 상승하여도 흐르는 전류의 양이 급격히 상승하는 것을 방지하여야 한다.
7. 정전압 양극산화에 의해 제작된 거친 표면과 2중 채널 구조를 갖는 미세기공은 pore widening 공정을 통하여 평탄 한 표면과 단일 채널구조를 보이게 되며, 이때, pore widening 공정을 통하여 알루미늄 구조체 내의 미세기공을 정밀하게 제어하기 위해서는 0.2M 이하의 저농도 인산(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)을 항상 60℃로 유지시켜 주어야 한다.
8. 나노미터 크기의 미세기공을 응용분야에 적용하기 위한 pore widening 공정의 시간조절은 사용할 산(acid)의 농도 및 온도에 따른 식각시간과 인가된 전압에 비

례하여 형성된 알루미늄 구조체의 두께를 미리 파악함으로써 식각시간을 계산할 수 있다.

9. 제작된 미세기공은 대면적 감지부를 갖는 각종 센서류, 전력반도체, 대용량 storage 장치, 나노미터 크기의 스텝퍼 및 디스플레이 소자에 응용할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 순천향대학교 산업기술연구소 학술연구조성비 일반연구과제로 지원을 받아 수행하였음

참 고 문 헌

- [1] 한성호, "알루미늄의 양극산화 피막 형성의 이론과 응용", 대한금속학회지, Vol. 2, No. 2, pp. 102-113, 1989.
- [2] 김성갑, 권해운, 정용수, "알루미늄상에 형성된 자성양극산화피막", J. Korean. Inst. Met. & Mater., Vol. 38, No. 4, pp. 547-551, 2000.
- [3] J. Li, C. Papadopoulos, and J. M. Xu, M. Moskovits "Highly-ordered carbon nanotube arrays for electronics applications", Applied Physics Letters, Vol. 75, No. 3, pp. 367-369, 19 July 1999.
- [4] W Shim, C. W. Lee, Y. M. Hanm, "Gas Permeation Characteristics of Microporous Alumina Membrane Prepared by Anodic Oxidation", J. Korean Ind. Eng. Chem., Vol. 10, No. 2, pp. 212-217, April 1997.
- [5] 이창우, 함영민, 강현섭, 장윤희, "양극산화에 의한 다공성 알루미늄 막의 제조시 전해질의 영향", J. of Korean Ind. & Eng. Chemistry, Vol 9, No. 7, pp. 1047-1052, 1998.
- [6] 김영태, 김정호, 신종철, "양극산화법으로 성장시킨 SiO<sub>2</sub> 박막의 Fowler-Nordheim 터널링 분석", Korean Physical Society, Vol. 39, No. 1, pp. 60-66, 1999.
- [7] Long VA and Wei Sang Li, "Influence of anodizing conditions on the ordered pore formation in anodic alumina", J. Phys. D: Applied Physics, Vol. 33, pp. 2527-2531, 2000.
- [8] C. Y. Liu, A. DAtta and Y. L. Wang, "Ordered anodic alumina nanochannels on focused-ion-beam-prepatterned aluminum surfaces", Applied Physics Letters, Vol. 78, No. 1, pp. 120-122, 2001.
- [9] Wenchong Hu, Dawei Gong, and Zhi Chen, "Growth of well-aligned carbon nanotube arrays and silicon substrates using porous alumina film as a nanotemplate", Applied Physic Letters, Vol. 79, No. 19, pp. 3083-3085, 2001.
- [10] 최영규, "나노 사이즈 광프로브에 의한 에버네스트파의 측정," 대한전기학회 논문지, Vol. 53C, No. 1, pp. 30-35, 2004.
- [11] Jin-Won Song, Kyung-Sup Lee, Woo-Ki Lee, Young-Il Choi, Suk-Arm Yoon and Chung-Seog Choi, "Displacement properties of nano structure dendrimer," KIEE International Transactions on EA,

Vol. 5-C, No. 1, pp. 28-32, 2005.

- [12] Joo-Won Hwang, Byung-Don Min and Sang-Sig Kim, "Conformal Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocoating of semiconductor nanowires by atomic layer deposition," KIEE International Transactions on EA, Vol 3-C, No. 2, pp. 66-69, 2003.
- [13] J. O. Choi, H. S. Jeung, D. G. Pflug, A. I. Akinwande and H. I. Smith, "Fabrication of 0.1  $\mu$ m gate aperture Mo-tip field-emitter arrays using interferometric lithography," Applied Physics Letters, Vol. 74, No. 20, pp. 3050-3052.
- [14] J. O. Choi, A. I. Akinwande and H. I. Smith, "100 nm gate hole openings for low voltage driving field emission display applications," Journal of Vacuum Science and Technology B, Vol. 19, No. 3, pp. 900-903, 2001.

## 저 자 소 개



### 이재홍 (李在洪)

1969년 4월 11일생. 1996년 순천향대학교 전기공학과 졸업(공학사), 1998년 동대학원 졸업(석사), 2000년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정(박사수료)



### 김창교 (金昌敎)

1981년 연세대학교 전기공학과 졸업(학사), 1983년 연세대학교 전기공학과 졸업(석사), 1992년 밴터빌트대학교 전기공학과 졸업(박사). 1993년~현재 순천향대학교 정보기술공학부 교수



### 이병욱 (李丙旭)

2004년 순천향대학교 정보기술공학부 졸업(학사), 2004년~현재 순천향대학교 전기공학과 석사과정



### 홍진수 (洪秦守)

1980년 연세대학교 물리학과 졸업(학사), 1982년 연세대학교 물리학과 졸업(석사), 1993년 텍사스주립대학교 물리학과 졸업(박사), 1994년~현재 순천향대학교 정보물리학과 부교수