

양극산화공정을 이용한 고세장비의 폴리머 마스터 제작

권종태¹· 신홍규²· 서영호²· 김병희[#]

Fabrication of Polymer Master with High Aspect Ratio by Using Anodic Aluminum Oxidation

J. T. Kwon, H. G. Shin, Y. H. Seo and B. H. Kim

Abstract

AAO(Anodic Aluminum Oxidation) method has been known that it is practically useful for the fabrication of nano-structures and makes it possible to fabricate the highly ordered nano masters on large surface and even on the 2.5 or 3D surface at low cost comparing to the expensive e-beam lithography or the conventional silicon processing. In this study, by using the multi-step anodizing and etching processes, highly ordered nano patterned master with concave shapes was fabricated. By varying the processing parameters, such as initial matter and chemical conditions; electrical and thermal conditions; time scheduling; and so on, the size and the pitch of the nano pattern can be controlled. Consequently, various alumina/aluminum nano structures can be easily available in any size and shape by optimized anodic oxidation in various aqueous acids. In order to replicate nano patterned master, the resulting good filled uniform nano molded structure through electro-forming process shows the validity of the fabricated nano pattern masters.

Key Words : Anodic Aluminum Oxidation(양극산화), Aspect ratio(종횡비), Nano master(나노 마스터)

1. 서론

지난 수십 년 동안 많은 연구가 이루어진 알루미늄 양극산화공정 (AAO; Anodic Aluminum Oxide)은 탄소 나노 튜브 (CNT; Carbon Nano Tube), 나노 와이어 (nanowire), 나노 마스크 및 나노 몰드, 광 결정 등과 같은 마이크로·나노 분야에 대하여 다양한 응용·잠재력을 내포하고 있다 [5-6]. 양극산화공정은 매우 간단하며, 값 비싼 이빔 리소그래피 (E-beam lithography)나 기존 실리콘을 이용한 반도체 식각 공정에 비하여 적은 예산과 시간으로 잘 정렬되고 균일한 형태의 나노 구조물을 쉽게 얻을 수 있다는 장점을 지니고 있다 [1].

특히, 박막 공정에서 나노 마스크로의 응용은

Masuda 등에 의해 최초로 연구되었으며, 양극산화 공정에서 발생하는 기계적·화학적 반응에 대한 반응 메커니즘에 대한 연구는 Li 외의 선행 연구자에 의해 이루어졌다 [2-4].

본 연구에서는 양극산화공정과 식각 공정을 통하여, 나노 사이즈의 정렬된 구조를 갖는 나노 마스터(nano master)를 제작하였다. 나노 마스터를 제작하기 위해 전해액, 전압, 온도, 시간 등과 같은 다양한 조건으로 나노 마스터의 패턴(pattern)의 크기와 간격을 조절하였다. 또한, 제작된 알루미늄 나노 마스터는 핫 엠보싱 공정을 이용하여 온도, 압력, 시간 등에 따른 조건하에서 성형 시험을 수행하였으며, 성형 결과를 바탕으로 SEM 측정을 통하여 폴리머 마스터의 성형성에 대한 타당성을 검증하였다.

1. 강원대학교 기계·메카트로닉스 공학과

2. 강원대학교 기계·메카트로닉스 공학과

교신저자: 강원대학교 기계·메카트로닉스공학과,

E-mail:kbh@kangwon.ac.kr

2. 나노 마스터 제작

2.1 양극산화공정

1마이크로 두께로 스퍼터한 알루미늄 표면 (Fig. 1 - step1)에 다공성 알루미나를 제작하기 위하여 0.04M의 oxalic acid에서 알루미늄 양극산화를 수행하였다. 기존의 oxalic acid 양극산화 방법들은 낮은 전압(40V)과 긴 시간(24h)으로 알루미늄 표면에 균일한 포어(pore)를 형성하는 것이 일반적이다[4]. 그러나 본 연구에서는 포어의 크기를 크게 하기 위해 90V 이상의 높은 전압과 2분의 짧은 시간으로 1차 양극산화(Fig. 1 - step1)를 수행하였다.

1차 알루미늄 양극산화를 통해 제작된 포어는 균일하지 못하고 포어의 크기가 100nm 이하로 형성되었다. 상기 방법으로 제작된 샘플을 나노 마스터로 사용할 경우, 폴리머가 충분히 전사 되지 않을 뿐만 아니라 패턴 또한 불규칙하여 마스터로 이용하기 힘들다. 따라서, 1차 양극산화로 생성된 알루미나를 제거하기 위하여 크롬산(1.8wt%)과 인산(6wt%)을 사용하여 65°C에서 1시간 수행하였다(Fig. 1 - step3).

알루미늄 양극산화공정과 식각공정을 통하여 제작된 마스터의 표면에 직경이 대략 250nm의 반구형패턴(hemisphere pattern)이 나타나게 된다. 이 마스터를 가지고 1차 양극산화 공정과 유사하게 2차 양극산화를 수행한다. 0.04M의 oxalic acid 용액에서 60V, 10분간 수행하였다(Fig. 1 - step4).

2차 양극산화공정으로 제작된 다공성 알루미나의 포어 크기를 확장하기 위한 공정으로 0.1M 인산(phosphoric acid) 용액에 30°C, 2시간 수행하였다(Fig. 1 - step4). 시간의 증가에 따라 포어(pore)의 크기가 증가하였으며 일정 시간 이상에서는 알루미늄이 완전히 용해되거나 포어간의 결합(merging)이 심하게 발생하였다.

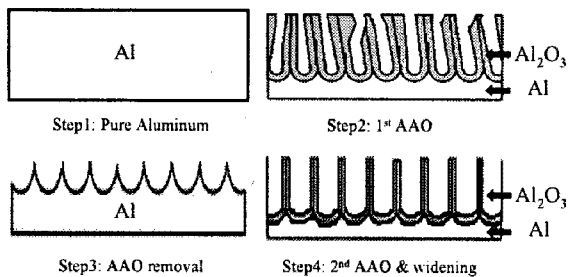


Fig. 1 Fabrication process of the anodic aluminum oxidation

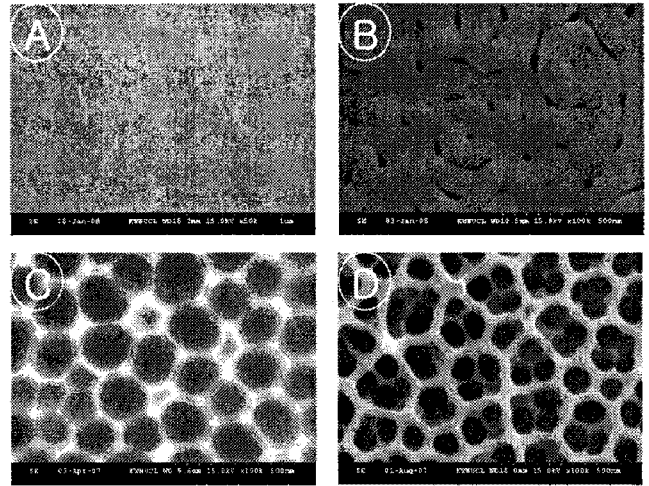


Fig. 3 (A) Surface of Aluminum sputter, (B) Surface of 1st AAO(0.04M oxalic acid, 90V, 2min at 4°C), (C) Result of AAO removal(Cromic acid 1.8wt% and phosphoric acid 6wt%, 60min at 65 at 30°C), (D) Surface of 2nd AAO after pore widening treatment(0.1M phosphoric acid, 120min at 30°C)

3. 핫 엠보싱 공정을 이용한 폴리머 마스터 제작

3.1 핫 엠보싱

앞서 언급한 방법으로 제작된 나노 패턴 마스터를 이용하여 핫 엠보싱 공정을 수행하였다. 핫 엠보싱(Hot embossing) 공정은 10nm 이하의 분해능을 가지며 재현성도 뛰어나고 재료처리량이 크며 매우 경제적인 공정이다.

Fig. 3에서와 같이 하판에 폴리머를 올려 놓고, 상판에 앞서 제작된 나노 마스터를 스탬프로 사용하였다. 본 연구에서 사용된 핫 엠보싱 시스템은 상판과 하판의 독립적인 히팅이 가능하며, 수냉식으로 냉각하였다. 사용된 폴리머 재료는 PMMA(polymethyl Methacrylate)이다. 핫 엠보싱 공정조건으로는 압력(2~7kN), 온도(115~121°C) 그리고 성형시간(5min)에 따라서 성형하였다. 또한, 이형온도는 100°C로 설정하였다.

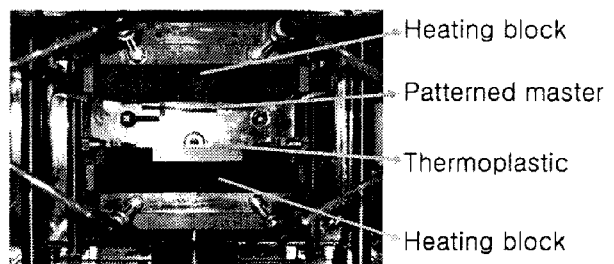


Fig. 3 Image of hot embossing process system

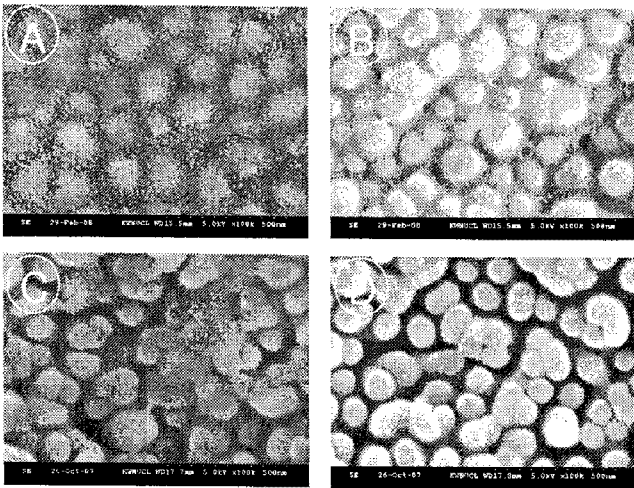


Fig. 4 SEM image of polymer master. Hot embossing condition, (A) 7kN at 119 °C, (B) 7kN at 120 °C, (C) 7kN at 130 °C-TMAH, (D) 7kN at 140 °C-TMAH

4. 결론

Fig. 2(D)는 알루미늄 양극산화 공정에 의해 제작된 나노 마스터의 SEM 사진이다. 포어 사이즈는 약 180~200nm 이며, 큰 포어 하단에 약 100nm의 작은 포어들이 형성되었다. 패턴의 높이는 약 500nm로 약 2.5의 종횡비를 갖는다.

Fig. 4는 핫 엠보싱 공정에 의해 성형된 결과이다. 나노 마스터의 아랫부분에 언더컷이 있어서 130 °C의 핫 엠보싱 조건에서는 폴리머 이형이 잘 되지 않았다. 그래서 TMAH(Tetra Methyl Ammonium Hydroxide)의 용액으로 80 °C에서 실리콘과 알루미늄 및 알루미늄을 제거하여 폴리머 마스터를 제작하였다.

Fig. 4는 핫 엠보싱으로 성형한 부분의 SEM 사진이다. Fig. 2의 그림에서와 같이 나노 패턴이 역상으로 전사가 되었으며, 약 0.5~1.2정도의 종횡비(aspect ratio)를 가진 패턴을 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 양극산화공정과 식각 공정을 통하여, 나노 사이즈의 정렬된 구조를 갖는 나노 마스터(nano master)를 제작하였다. 제작된 나노 마스터는 핫 엠보싱 공정을 이용하여 온도, 압력, 시간 등에 따른 조건하에서 성형 시험을 수행하였으며, 성형 결과를 바탕으로 SEM 측정하여 폴리머마스터의 성형 타당성을 검증하였다.

후 기

본 연구는 과학기술부가 주관하는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환인 나노메카트로닉스기술개발사업단의 연구비 지원(06K1410-00511)에 의해 수행되었습니다. 또한 이 연구에 참여한 연구자는 '2단계 BK21 사업'의 지원비를 받습니다.

참 고 문 헌

- [1] O. Lee, S. Hwang, S. Jeong, P. Lee, K. Lee, 2004, Synthesis of carbon nanotubes with identical dimensions using an anodic aluminum oxide template on a silicon wafer, Synthetic Metals, Vol. 148, 263-266.
- [2] A. P. Li, F. Muller, A. Biner, K. Niesch and U. Gosele, 1988, Hexagonal pore arrays with a 50-420nm interpore distance formed by self-organization in anodic alumina, J. of Appl. Phys., Vol. 84, No. 11, 6023-6026.
- [3] S. K. Hwang, S. H. Jeong, H. Y. Hwang, O. J. Lee and K. H. Lee, 2002, Fabrication of highly ordered pore array in anodic aluminum oxide, Korean J. Chem. Eng., Vol. 19, No. 3, 467-473.
- [4] H. Masuda, H. Yamada, M. Satoh and H. Asoh, 1997, Highly ordered nanochannel-array architecture in anodic alumina, J. of Appl. Phys., Vol. 84, No. 11, 2770-2772.