

# 고 세장비의 나노 구조물을 이용한 광학적 반사방지면의 구현 Fabrication of anti-reflective surface using nano-structure with high aspect ratio

\*김병희<sup>1</sup>, 신흥규<sup>1</sup>, 권종태<sup>1</sup>, 이해곤<sup>2</sup>, 이재숙<sup>2</sup>, #서영호<sup>1</sup>

\*B. H. Kim<sup>1</sup>, H. G. Shin<sup>1</sup>, K. T. Kwon<sup>1</sup>, H. G. Lee<sup>2</sup>, J. S. Lee<sup>2</sup>, #Y. H. Seo(mems@kangwon.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부, <sup>2</sup>제이엠아이 주식회사

Key words : AR(Anti-reflection), AAO(Anodic aluminum oxidation), HE(hot-embossing)

## 1. 서론

투명한 유리상에 반사 방지막은 광학적 소자나 제품의 수요 증가에 따라 꾸준히 연구되고 있다[1-2]. 모스 아이(moth-eye) 구조는 특정 깊이에서 평균 굴절율(refractive index)이 점진적으로 변화하기 때문에 넓은 범위에서의 파장(wavelength)과 빛의 입사각에서 빛의 반사를 최소화 할 수 있다고 밝혀졌다[3-4]. 일반적으로 반사 방지면은 제작된 투명한 기판상에 특수한 막을 코팅함으로써 구현할 수 있다. 하지만 대량생산과 더불어 값싸게 제작할 수 있는 성형기술에 관한 연구는 아직 어려운 상태이다. 특히, 전형적인 포토리소그래피(photolithography)나 이빔(e-beam)에 의한 모스 아이 구조 제작기술은 비용과 시간적인 면에서 한계를 가지고 있다.

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, 광결정 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 [7]. 특히, 박막 공정에서 나노 마스크로의 응용은 Masuda 등에 의해 최초로 연구되었으며, 양극산화공정에서 발생하는 기계적·화학적 반응에 대한 반응 메커니즘에 대한 연구는 Li 외의 선형 연구자에 의해 이루어졌다 [8-9].

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, EDX 측정과 스펙트럼미터(spectrometer) 검사를 통하여 반사 방지면에 대한 성형 타당성을 검증하였다.

## 2. R 나노 마스터 제작

Fig. 1 은 나노 마스터 제작공정 순서를 나타낸다. 알루미늄은 스퍼터링 공정을 통하여 실리콘 상에 1 $\mu$ m의 두께로 증착하였다. 준비된 알루미늄 시편을 이용하여 1 차 양극산화공정과 식각공정을 통하여 음각의 베이스 패턴을 형성한다. 포어(pore) 크기를 증가시키고 동시에 고 종횡비를 갖는 나노 마스터의 제작을 위하여 2 차 양극산화공정과 포어 와이드닝(pore widening) 공정을 수행한 후, 최종적인 다공성의 나노 마스터를 제작하였다.

알루미늄 표면에 다공성 알루미늄( $Al_2O_3$ )를 제작하기 위하여, 0.04M의 수산(oxalic acid) 용액에서 양극산화를 수행하였다[6-7]. 기존의 양극산화 방법들은 낮은 전압(40V)과 긴 시간(24h)으로 알루미늄 표면에 균일한 포어를 형성하는 것이 일반적이다. 그러나 본 연구에서는 90V 이상의 높은 전압과 2 분의 짧은 반응시간으로 1 차 알루미늄 양극산화를

수행하였다(Fig. 1 - step 2).

알루미늄 양극산화를 통해 제작된 알루미늄의 포어들은 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 반사 방지막으로 이용하기 힘들다. 따라서, 양극산화로 생성된 알루미늄을 제거하기 위하여 크롬산(1.8wt%)과 인산(6wt%)을 사용하여 65 $^{\circ}C$ 에서 1 시간 수행하였다(Fig. 1 - step 3).

알루미늄 양극산화공정과 식각공정을 통하여 제작된 나노 마스터의 표면에 나노 크기의 반구형패턴(hemisphere pattern)이 나타나게 된다. 이 마스터를 가지고 1 차 양극산화 공정과 유사하게 2 차 알루미늄 양극산화를 수행한다. 0.04M의 수산(oxalic acid) 용액에서 60V, 10 분간 수행하였다(Fig. 1 - step4). 1 차 양극산화를 하여 알루미늄의 표면에 반구 모양의 패턴이 형성되어있어 2 차 양극산화를 수행하면 형성된 반구형 패턴 안으로 나노 포어들이 수직으로 성장하며 균일한 나노 크기의 패턴을 얻게 된다.

2 차 알루미늄 양극산화를 한 다공성 알루미늄의 포어 크기를 확장하기 위한 공정으로 0.1M 인산(phosphoric acid) 용액에 30 $^{\circ}C$ , 2 시간 수행하였다(Fig. 1 - step 4). 시간의 증가에 따라 포어(pore)의 크기가 증가하였으며 일정 시간 이상에서는 알루미늄이 완전히 용해되거나 포어간의 결합(merging)이 심하게 발생하였다.

## 3. 핫 엠보싱 공정을 이용한 나노 패턴 성형

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. 2 에서와 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 PC(polycarbonate)이다. 핫 엠보싱 공정조건으로는 압력(4~7kN), 온도(150~180 $^{\circ}C$ ) 그리고 성형시간(5min)에 따라서 성형하였다. 또한, 이형온도는 100 $^{\circ}C$ 로 설정하였다.

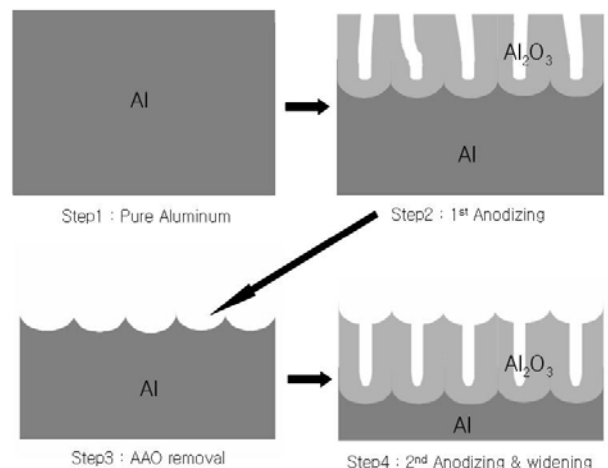


Fig. 1 Fabrication process of the anodic aluminum oxidation

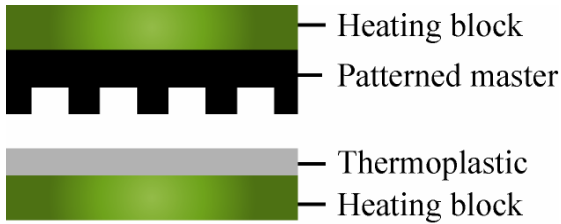


Fig. 2 Schematic of hot embossing process

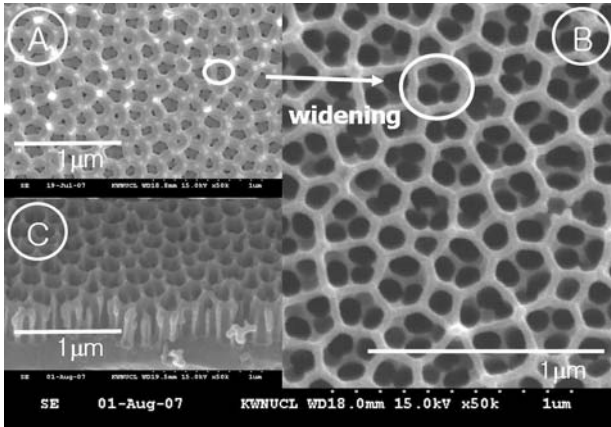


Fig. 3 (A) Surface of 2<sup>nd</sup> AAO(0.04M oxalic acid, 60V, 10min at 4°C), (B) Result of pore widening(0.1M phosphoric acid, 120min at 30°C), (C) Cross-sectional view of 2<sup>nd</sup> AAO after pore widening treatment(0.1M phosphoric acid, 120min at 30°C)

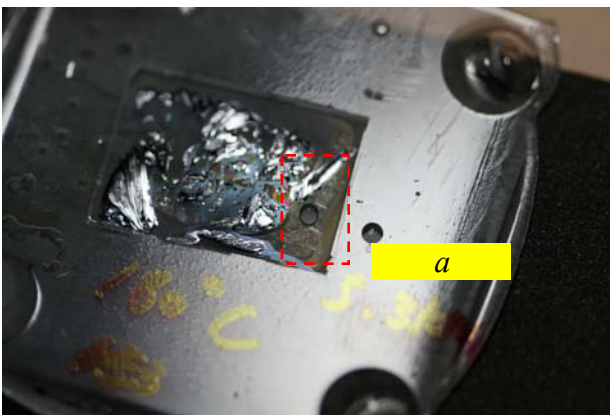


Fig. 4 Real image of anti-reflective surface by hot embossing process (180°C, 5kN, 5min)

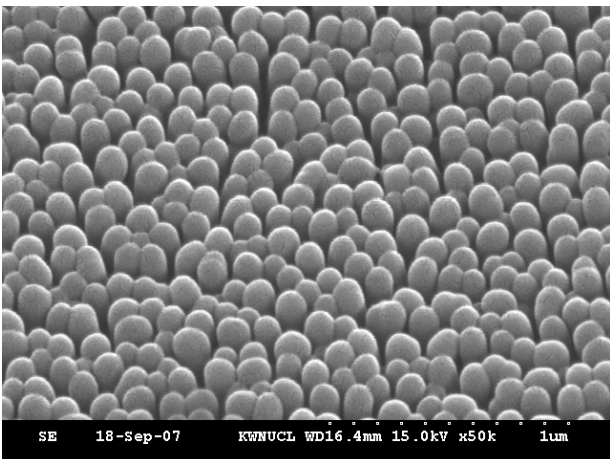


Fig. 5 SEM image of anti-reflective area at rectangular red dot-line of Fig. 4

#### 4. 결과 및 토의

Fig. 3 은 알루미늄 양극산화 공정에 의해 제작된 나노 마스터의 SEM 사진이다. 포어 사이즈는 약 180~200nm 이며, 큰 포어 하단에 약 100nm 의 작은 포어들이 형성되었다. 패턴의 높이는 약 500nm 로 약 2.5 의 종횡비를 갖는다.

Fig. 4 는 핫 엠보싱 공정에 의해 성형된 결과이다. 제작된 나노 마스터가 아래부분에 언더컷이 있어서 이형이 잘 되지 않았다. 하지만 성형된 부위의 주변에서 반사 방지의 효과를 확인할 수 있었다.

Fig. 5 는 핫 엠보싱으로 성형한 부분의 SEM 사진이다. 그림에서와 같이, 모스 아이의 구조와 유사하게 패턴이 형성되었으며, 약 1.5~2 정도의 종횡비(aspect ratio)를 얻을 수 있었다.

#### . 결론

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, EDX 측정과 스펙트럼미터(spectrometer) 검사를 통하여 반사 방지면에 대한 성형 타당성을 검증하였다.

#### 후기

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

#### 참고문헌

1. Kenneth M. Baker, "Highly corrected close-packed microlens arrays and moth-eye structuring on curved surfaces", Applied Optics, Vol. 3 , 352-356, 1999.
2. N. Yamaguchi and K. Tadanaga, "Anti-reflective coatings of flowerlike alumina on various glass substrates by the sol-gel process with the hot water treatment", J. of Sol-Gel Sci. and Tech. 33, 117-120, 2005.
3. C.G. Bernhard, "Structural and function adaptation in a visual system", Endeavor 2 , 79-84, 1967.
4. P.B. Clapham and M.C. Hutley, "Reduction of lens reflection by the moth-eye principle", Nature 244, 281-282, 1973.
5. H. Masuda, H. Yamada, M. Satoh and H. Asoh, "Highly ordered nanochannel-array architecture in anodic alumina", J. of Appl. Phys., Vol. 4, No. 11, 2770-2772, 1997.
6. J. Suh and J. Lee. , "Yield characterization of metals with transversely isotropic plastic prop-erties", Appl. Physics Letter, Vol. , 2047~2049, 1999.
7. O. Lee, S. Hwang, S. Jeong, P. Lee, K. Lee, "Synthesis of carbon nanotubes with identical dimensions using an anodic aluminum oxide template on a silicon wafer", Synthetic Metals, Vol. 14 , 263-266, 2004.
8. A. P. Li, F. Muller, A. Biner, K. Niesch and U. Gosele, "Hexagonal pore arrays with a 50-420nm interpore distance formed by self-organization in anodic alumina", J. of Appl. Phys., Vol. 4, No. 11, 6023-6026, 1988.
9. S. K. Hwang, S. H. Jeong, H. Y. Hwang, O. J. Lee and K. H. Lee, "Fabrication of highly ordered pore array in anodic aluminum oxide", Korean J. Chem. Eng., Vol. 1 , No. 3, 467-473, 2002.