

<학술논문>

양극산화된 알루미늄과 마이크로 인덴테이션을 이용한 3 차원 마이크로-나노 하이브리드 패턴 제작

권종태* · 신홍규* · 서영호† · 김병희*
(2007년 4월 2일 접수, 2007년 10월 17일 심사완료)

Development of 3D Micro-Nano Hybrid Patterns Using Anodized Aluminum and Micro-Indentation

Jong Tae Kwon, Hong Gue Shin, Young Ho Seo and Byeong Hee Kim

Key Words : Anodized Aluminum(양극산화 알루미늄), Hemispherical Nano-Pattern(반구형상 나노 패턴), Micro-Indentation(마이크로 인덴테이션), Micro-Nano Hybrid Pattern(마이크로-나노 하이브리드 패턴)

Abstract

A simple method for the fabrication of 3D micro-nano hybrid patterns was presented. In conventional fabrication methods of the micro-nano hybrid patterns, micro-patterns were firstly fabricated and then nano-patterns were formatted on the micro-patterns. Moreover, these micro-nano hybrid patterns could be fabricated on the flat substrate. In this paper, we suggested the fabrication method of 3D micro-nano hybrid patterns using micro-indentation on the anodized aluminum substrate. Since diameter of the hemispherical nano-pattern can be controlled by electrolyte and applied voltage in the anodizing process, we can easily fabricated nano-patterns of diameter of 10nm to 300nm. Nano-patterns were firstly formatted on the aluminum substrate, and then micro-patterns were fabricated by deforming the nano-patterned aluminum substrate. Hemispherical nano-patterns of diameter of 150nm were fabricated by anodizing process, and then micro-pyramid patterns of the side-length of 50 μ m were formatted on the nano-patterns using micro-indentation. Finally we successfully replicated 3D micro-nano hybrid patterns by hot-embossing process. 3D micro-nano hybrid patterns can be applied to nano-photonic device and nano-biochip application.

1. 서 론

최근 MEMS 기술과 나노 기술이 발달함에 따라 생명건강, 정보통신, 디스플레이 등의 산업에 적용되어, 나노-바이오칩, 나노 포토닉스, 유비쿼터스, 나노/마이크로 패턴기반 디스플레이 등의 형

태로 개발되고 있다.⁽¹⁾

마이크로 및 나노 패턴 형성기술분야를 살펴보면, 마이크로 패턴은 MEMS 공정기술이나 초정밀 기계 가공기술을 통하여 구현되고 있으며, 최근 이렇게 제작된 마이크로 패턴을 몰드로 사출성형 또는 핫 엠보싱하는 연구가 활발이 진행되고 있다.⁽²⁻⁶⁾ 또한 나노 패턴은 전자빔 리소그래피, 홀로그래프 리소그래피, 나노프로브(nano-probe) 리소그래피 등을 이용하여 바이오응용이나 반사방지용 등으로 적용하고 있다.⁽⁷⁻¹⁰⁾

마이크로-나노 하이브리드 패턴을 제작하는 방

† 책임저자, 회원, 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부
E-mail : mems@kangwon.ac.kr
TEL : (033)253-6378 FAX : (033)257-4190

* 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부

법으로 block copolymer 를 이용하는 방법이 제안되었으나 2 차원 형상의 패턴만 제작 가능한 단점을 가지고 있다.⁽¹¹⁾ 최근 나노-바이오 센서의 해상도를 높이고 나노-광학소자의 광손실을 최소화하기 위해 3 차원 마이크로-나노 하이브리드 패턴에 대한 관심이 모아지고 있으나 기존 기술을 이용하여 3 차원 마이크로-나노 하이브리드 패턴을 제작하는 것은 불가능하거나 많은 제작비가 소요되고 있는 실정이다.

본 논문은 알루미늄 양극산화와 마이크로 인덴테이션 방법을 이용하여 마이크로-나노 하이브리드 패턴 몰드를 제작하고 상기 몰드와 핫엠보싱을 통하여 마이크로-나노 하이브리드 패턴을 복제하는 기술에 관한 것이다.

2. 마이크로-나노 하이브리드 패턴 제작공정

2.1 나노패턴 제작

본 연구에서는 3 차원 마이크로-나노 하이브리드 패턴을 제작하기 위해 마이크로 크기의 패턴을 형성한 후 그 위에 나노 크기의 패턴을 형성하는 방법을 사용하지 않고, 먼저 나노 크기의 패턴을 제작하고 마이크로 크기의 패턴을 가진 인덴터를 이용하여 마이크로 패턴 형상을 나노 패턴이 형성된 기판에 제작하는 방법을 사용하였다. 즉 알루미늄 양극산화를 통해 나노 크기의 패턴을 먼저 제작하고 다음으로 인덴테이션을 통해 마이크로 크기의 패턴을 제작하였다. Fig. 1 은 3 차원 마이크로-나노 하이브리드 패턴의 개략도를 나타낸다.

나노 패턴을 형성하는 방법에는 전자빔을 이용하는 방법과 레이저를 이용한 홀로그래피를 이용하는 방법이 일반적인 방법인데, 본 연구에서는 상대적으로 저가의 공정으로 다양한 크기의 나노급 반구형상 제작에 유용한 알루미늄 양극산화 공정을 이용하였다. Fig. 2 는 3 차원 마이크로-나노 하이브리드 패턴 제작을 위한 공정을 나타낸다. 먼저 나노 패턴 제작공정기술을 살펴보면 나노 패턴 어레이는 순수 알루미늄을 양극산화시키고, 알루미늄 산화막을 제거하여 손쉽게 값싸게 제작하는 것이 가능하다. 알루미늄을 전해질속에서 양극산화시키면 다공성 알루미늄 산화막이 형성되고 (Fig. 2-step2) 알루미늄 산화막층은 친수성과 내마모성을 향상시킬 수 있다. 또한 산화막층과 접해있는 알루미늄은 양극산화공정의 특성으로 인해 반구형상의 패턴을 유지하게 된다.(Fig. 2-step3) 또

한 패턴의 크기는 산화전압의 제어나 적절한 전해액의 선택을 통하여 수십 nm 에서 수백 nm 의 크기로 제작이 가능함이 알려져 있어 손쉽게 나노 패턴 크기를 제어할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 순수 알루미늄(99.999%)을 0.3M 수산(Oxalic Acid)을 전해질로 사용하여, 17℃의 온도에서 70V 의 전압으로 20 분간 양극산화 시킨 후, 65℃의 알루미늄 에칭액(1.8wt% 크롬산, Chromic Acid + 6wt% 인산, Phosphoric Acid)에서 1 시간 동안 알루미늄을 제거하여 반구형상의 나노 패턴을 제작하였다. 이와 같은 조건으로 제작된 반구형상은 Fig. 3 에 나타내었으며, 제작된 나노반구형상의 직경은 대략적으로 100nm~150nm 로 측정되었다.

2.2 마이크로-나노 하이브리드 패턴 제작

앞서 설명하였듯이 3 차원 마이크로-나노 하이브리드 패턴을 제작하기 위해서 먼저 나노 패턴을 형성하고 나노 패턴이 형성된 기판을 마이크로

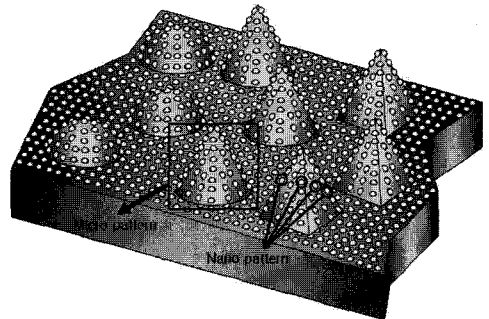


Fig. 1 Schematic illustration of 3D micro-nano hybrid patterns

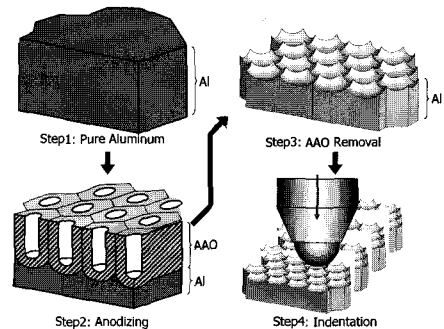


Fig. 2 Fabrication process of the 3D micro-nano hybrid pattern mold using Anodized Aluminum Oxide(AAO) and micro-indentation

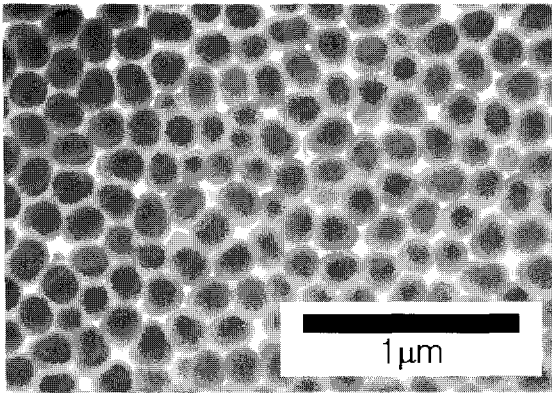


Fig. 3 SEM images of the anodized aluminum substrate with nano-hemispherical patterns

인텐테이션을 이용하여 성형하는 방법을 사용하였다. 마이크로 패턴 형성 시, 나노 패턴 손상이 우려되었으나, 실험결과 양각의 나노 패턴은 마이크로 인텐테이션 공정에서 손상을 받았으나, 음각의 나노 패턴은 손상을 받지 않아 완벽하게 3 차원 마이크로-나노 하이브리드 패턴을 제작할 수 있음을 확인하였다.^(12,13)

마이크로 패턴은 인텐터의 팁 형상을 변경하여 그 형상을 제어할 수 있으며, 나노 패턴이 형성되어 있는 알루미늄기판은 연성이 높은 재료로 손쉽게 성형이 가능하다는 장점이 있다. 본 연구에서 천연 다이아몬드로 제작된 60μm 와 30μm 크기와 135° 경사각과 피라미드 형상을 가진 마이크로 패턴 팁을 사용하였다. 팁의 하중은 다양하게 인가할 수 있으나 본 연구에서는 25gr 와 50gr 를 10 초 간 각각 100μm 간격으로 인가하여 마이크로 패턴을 성형하였다. Fig. 4 는 25gr 와 50gr 를 사용하여 나노 패턴이 형성된 기판에 제작된 마이크로 패턴 형상을 나타내는 SEM 사진이다.

Fig. 5(a)는 마이크로 인텐테이션을 이용하여 제작된 피라미드형상을 가진 마이크로 패턴을 확대하여 찍은 SEM 사진을 나타낸다. Fig. 5(b), 5(c)와 5(d)는 3 차원 마이크로-나노 하이브리드 패턴을 확대한 SEM 사진으로 마이크로 피라미드 패턴의 경계부분, 마이크로 피라미드의 측면부분, 마이크로 피라미드의 외각부분을 각각 보여주고 있다. Fig. 5 에서 확인할 수 있듯이 100nm 급 반구가 손상 없이 마이크로 피라미드 패턴 위에 잘 형성되어 있음을 확인할 수 있다.

제안된 기술을 이용하면 10~100nm 급 반구형상의 나노 패턴이 수십 μm 급의 다양한 마이크로 패턴 위에 일정하게 형성되도록 할 수 있다.

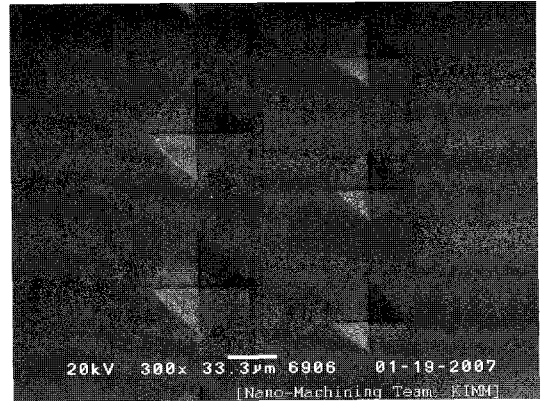


Fig. 4 SEM images of the micro-pyramid patterns using micro-indentation method on the anodized aluminum substrate (applied loads were 25gr and 50gr)

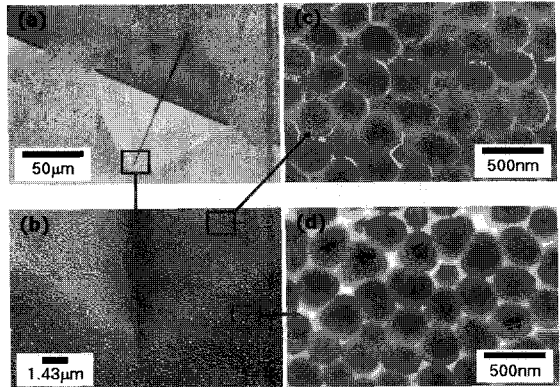


Fig. 5 SEM images of fabricated 3D micro-nano hybrid pattern mold: (a) Micro-pyramid patterns; (b) Edge shape of the micro-pyramid pattern; (c) Enlarged view of the inclined region of the micro-pyramid pattern; (d) Enlarged view of the outside of the micro-pyramid pattern

3. 마이크로-나노 하이브리드 패턴 복제공정

양극산화 알루미늄기판과 마이크로 인텐테이션을 이용하여 제작된 3 차원 마이크로-나노 하이브리드 패턴 몰드를 폴리카보네이트(PC)기판에 복제하기 위하여 Fig. 6 의 핫엠보싱공정 시스템을 이용하였다. 핫엠보싱 공정조건은 폴리카보네이트(PC)기판과 substrate 기판 사이에 양극산화와 인텐테이션으로 제작된 몰드를 넣고 175℃에서 7.056KN의 힘으로 1 분간 가압한 뒤 5 분 동안 100℃로 냉각한 후에 이형하였다. 자세한 공정조건은 Fig. 7 에 나타내었으며, 마이크로-나노 하이브리드 패턴

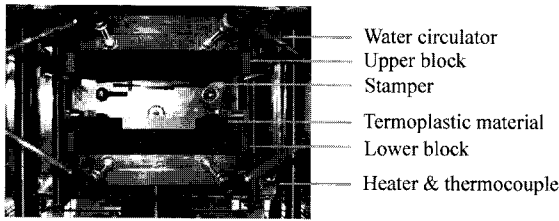


Fig. 6 Hot-embossing system for replication of hemispheric nano-patterns

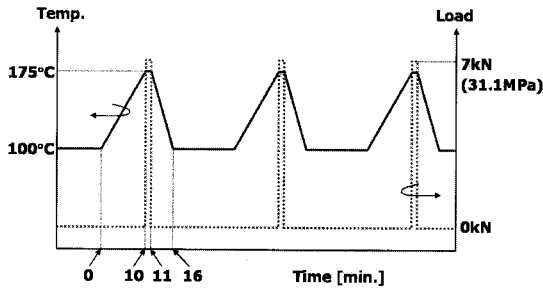


Fig. 7 Hot-embossing condition for the replication of micro-nano hybrid patterns

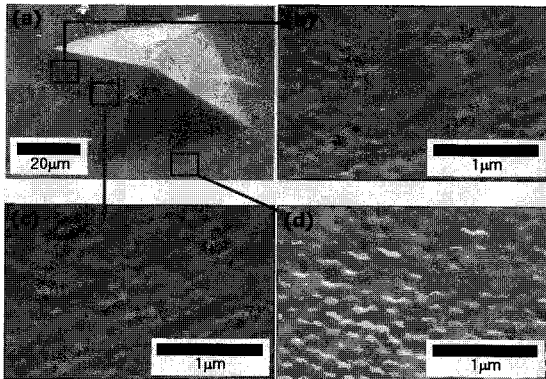


Fig. 8 SEM images of the replicated 3D micro-nano hybrid pattern on the PC substrate (31MPa, 175°C): (a) Replicated micro-pyramid patterns; (b) Enlarged view of the edge of the micro-pyramid pattern; (c) Enlarged view of the inclined region of the micro-pyramid pattern; (d) Enlarged view of the outside of the micro-pyramid pattern

몰드의 크기가 15mm X 15mm 인 것을 고려하면 공정압력은 약 31MPa 이 된다.

Fig. 8 은 핫엠보싱 공정을 통해 PC 기판 위에 복제된 3 차원 마이크로-나노 하이브리드 패턴 형성결과를 나타낸다. 마이크로 피라미드 패턴의 측면, 가장자리, 외각부분 모두 나노패턴이 정확

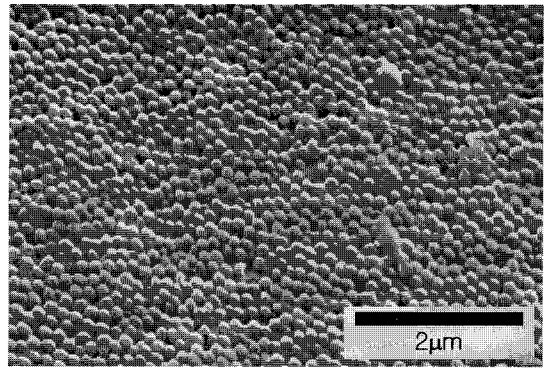


Fig. 9 SEM images of the replicated 3D micro-nano hybrid pattern on the PC substrate (31MPa, 180°C)

하게 복제되어 3 차원 마이크로-나노 하이브리드 패턴을 형성하고 있음을 확인할 수 있다. Fig. 9 는 같은 조건에서 금형온도를 180°C로 증가시켰을 경우를 나타내고 있다.

핫엠보싱 공정을 통하여 3 차원 마이크로-나노 하이브리드 패턴을 플라스틱기판에 복제할 수 있음을 실험적으로 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 손쉽고 값싼 공정인 알루미늄 양극 산화법과 인텐테이션을 통하여 3 차원 마이크로-나노 하이브리드 패턴 몰드 제작기술을 개발하였으며, 상기 몰드를 이용하여 핫엠보싱 공정을 통해 패턴을 복제하여 마이크로-나노 하이브리드 패턴 몰드의 타당성을 검증하였다. 제작된 나노패턴은 수산(Oxalic acid) 0.3M, 4°C, 20 분, 70V 조건에서 제작되었고, 100~150nm 크기를 형성하였으며, 천연 다이아몬드로 제작된, 60µm 와 30µm 크기와 135° 경사각과 피라미드 형상을 가진 인텐터 팁으로 마이크로-나노 하이브리드 패턴 몰드를 제작하였다. 175°C에서 폴리카보네이트(PC)를 사용하여 핫엠보싱해서 전사성을 확인하였다.

3 차원 마이크로-나노 하이브리드 패턴을 이용하여 나노-바이오센서, 나노광학소자 등에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 과학기술부가 주관하는 21 세기 프론티어 연구개발사업의 일환인 나노메카트로닉스 기술개발사업단의 연구비 지원(06K1401-00511)에

의해 수행되었습니다. 또한 이 연구에 참여한 연구자는 '2 단계 BK21 사업'의 지원비를 받습니다.

참고문헌

- (1) Suh, J. and Lee, J., *et.al.*, 1999, "Highly Ordered Two-Dimensional Carbon Nanotube Array," *Applied Physics Letter*. 75, pp. 2047~2049
- (2) Piotter, V., *et.al.*, 2001, "Injection Molding of Components for Microsystems," *Microsystem Technologies* 7, pp. 99~102
- (3) Steigert, J., *et.al.*, 2007, "Rapid Prototyping of Microfluidic Chips in COC," *J. Micromech. Microeng.* 17, pp. 333~341
- (4) Su, Yu-Chuan, *et.al.*, 2004, "Implementation and Analysis of Polymeric Microstructure Replication by Micro Injection Molding," *J. Micromech. Microeng.* 14, pp. 415~422
- (5) Beckera Holger, *et.al.*, 2001, "Polymer Based Micro-Reactors," *Reviews in Molecular Biotechnology* 82, pp. 89~99
- (6) Pan, C.T., *et.al.*, 2006, "Fabrication of Gapless Triangular Micro-Lens Array," *Sensors and Actuators A*
- (7) Gadegaard, N., *et.al.*, 2006, "Applications of Nano-Patterning to Tissue Engineering," *Microelectronic Engineering* 83, pp. 1577~1581
- (8) Bhushan Bharat, 2001, "Nano to Microscale Wear and Mechanical Characterization Using Scanning Probe Microscopy" *Wear* 251, pp. 1105~1123
- (9) Gadegaard N., *et.al.*, 2003, "Arrays of Nano-Dots for Cellular Engineering," *Microelectronic Engineering* 67~68, pp. 162~168
- (10) David, C., *et.al.*, 2002, "Nano-Structured Anti-reflective Surfaces Replicated by Hot Embossing," *Microelectronic Engineering* 61~62, pp. 435~440
- (11) Choi Dae-Geun, *et.al.*, 2004, "2D Nano/Micro Lybrid Patterning Using Soft/Block Copolymer Lithography," *Materials Science and Engineering C* 24, pp. 213~216
- (12) Anthony, C. and Fischer-cripps, 2002, "Nanoindentation," Springer
- (13) Kim Byung Min, *et.al.*, 2007, " The Piling-up/Sinking-in Response of Elasto-plastic," pp. 356~361