

미세 기계 가공에 의해 제작된 대면적 고세장비 마이크로 패턴의 미세 전주 복제 공정기술 개발

Micro Electroforming of Large Area High Aspect Ratio Micro Patterns Produced by Micro Machining Process

*이병수¹, 한정원¹, 임지석¹, 한정진¹, #강신일²

*Byung Soo Lee¹, J.W. Han¹, J.S Lim¹, J.J Han¹, #Shinill Kang(snlkang@yonsei.ac.kr)²

¹ 연세대학교 대학원 기계공학과, ² 연세대학교 기계공학부

Key words : Micro machining, Micro Pattern, Electroforming

1. 서론

디스플레이, 태양전지를 비롯한 광전자 응용 분야에 나노, 마이크로 패턴의 적용에 대한 관심이 증대되면서 나노, 마이크로 패턴의 대면적 제작 기술 개발의 필요성이 증대되고 있다. 일반적으로 대면적 미세패턴을 제작하기 위해서는 포토리소그래피 공정이 주로 사용되는데, 이 공정은 복잡한 단위공정으로 이루어져 있어 원가상승의 원인이 되고, 고세장비 미세 패턴제작에 어려움이 있다. 이러한 한계점을 극복하기 위하여 나노 사출성형(nano injection molding), 핫 엠보싱(hot embossing), 나노 임프린팅(nano imprinting) 공정 등이 제시되고 있다. 그러나 위의 공정을 위해서는 고가의 대면적 몰드 제작이 요구된다^(1,2). 본 연구에서는, 대면적 고세장비 몰드 제작 단가를 낮추기 위한 기술로서 대면적 전주 복제공정 기술을 개발하였다. 기계가공으로 제작된 대면적 고세장비 마이크로 마스터를 전주 복제 공정기술을 이용하여 복제 스탬프를 제작하였으며, 이의 기하학적 특성을 기계 가공된 마스터와 비교/분석함으로써 본 공정의 유효성을 검증하였다.

2. 대면적 전주 복제 공정 기술

전주 복제 공정은 전도성 마스터 패턴상에 전기/화학적 원리를 이용하여 특정 금속을 증착하여 복제 스탬프를 제작하는 공정이다⁽³⁾. 일반적으로 복제하고자 하는 마스터를 음극으로 하고 증착하고자 하는 물질을 양극으로 하여 통전 시 증착하고자 하는 물질이 이온화되어 마스터 패턴상에 증착되는 원리를 활용한다. 이때 증착되는 복제 스탬프의 두께는 전류의 양과 전류를 흘려준 시간에 비례하게 된다⁽⁴⁾. Fig. 1은 전주 복제 공정을 도식적으로 표현한 것이다. 본 연구에서는 경도, 내구성, 점착력 등을 고려하여 스탬프 물질로 니켈을 사용하였고, 이를 위한 도금액으로 nickel sulfamate solution ($Ni(NH_2SO_3)_2 \cdot 4H_2O$)을 사용하였다. 또한 스탬프의 두께 및 내부 응력 제어를 위해 정밀 전류 제어를 실시하였다.

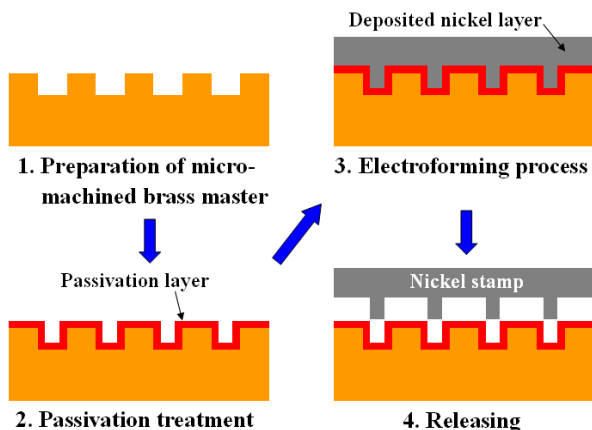


Fig. 1 Process flow of electroforming process

도금액온도 (°C)	53 ± 1
pH	3.8 ± 0.05
Current density (mA/cm ²)	333
Ramping time (min.)	45
Concentration of Ni (NH ₂ SO ₃) ₂ ·4H ₂ O (g/l)	350 ± 5
Concentration of NiCl ₂ ·6H ₂ O (g/l)	5
Concentration of H ₂ BO ₃ (g/l)	35

전주 복제 공정을 통한 스탬프 제작에 있어서, 스탬프 내부 응력, 표면 defect, 두께 균일도 등의 제어가 매우 중요하다. 니켈의 이온화 과정에서 발생 가능한 불순물은 스탬프상에 증착 되어 pin hole 등 defect 및 두께 균일도 저하 등의 문제를 야기할 수 있다⁽⁵⁾. 또한 정밀한 전류 제어를 실시하여, 스탬프 내부 응력 제어 및 과전류로 인한 마스터 패턴의 burning 방지가 필수적이다.

본 연구에서 250mm x 300mm 크기의 대면적 고세장비 마이크로 패턴 금속 스탬프 제작을 위해, 황동으로 가공된 마스터 패턴이 사용되었다. Fig. 2는 본연구에 사용된 마스터 패턴의 패턴 배열을 나타내고 있다. 또한 원활한 대면적 고세장비 마이크로 패턴 금속 스탬프의 전주 복제 공정을 위하여 Table 1에서와 같이 공정 조건을 확립하였다. 전주 공정 시 240 리터에 해당하는 도금액은 53° C로 유지되었고, 도금액의 폐하 지수(pH level) 또한 3.8로 유지되었다. Fig. 3에서와 같이 전류는 100A가 사용되었는데 첫 45분 동안은 ramping time이라 하여 전류를 서서히 100A까지 증가시키는 전류 제어를 실행하였다.

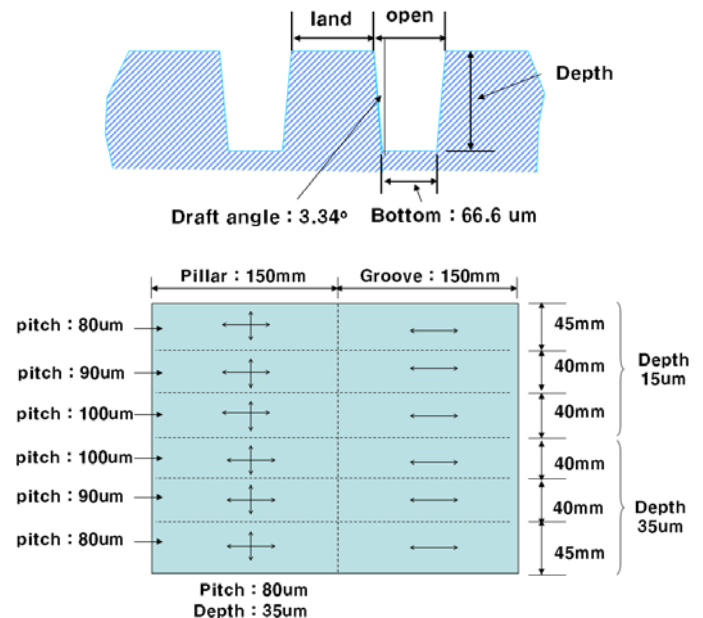


Fig. 2 Pattern layout of the micro-machined brass master

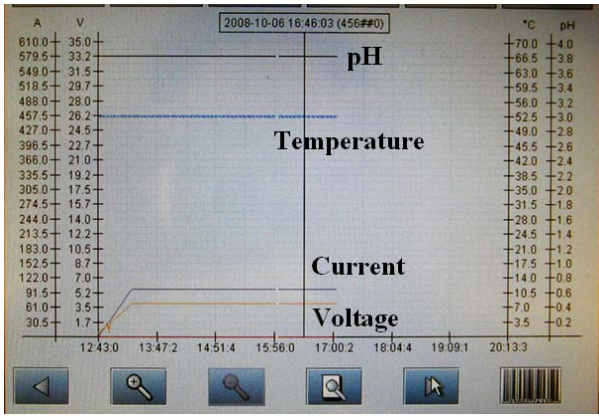


Fig. 3 Process graph of electroforming process

전류 밀도의 제어를 통해 스탬프 내부 응력을 제거하여 스탬프의 뒤틀림을 방지하였다. 최적의 공정조건을 도출하여 두께 200 μm 의 대면적 고세장비 마이크로 패턴의 금속 스탬프 제작 시간은 총 4 시간 45 분이 소요되었다.

Passivation 공정은 부동태화층 생성을 위해 전주 공정 전에 필요한 공정으로서, 부동태화층은 전도층에 금속이 결합될 때에 결합 에너지에 의해 두 물질이 결합하여 마스터상의 마이크로 패턴을 보호하고, 전주 공정이 끝났을 때에 마스터와 스탬프간 원활한 이형이 가능하게 하는 역할을 한다⁽⁶⁾. 본 연구에서는 황동을 이용하여 전주공정을 진행하였을 때 제조된 니켈 스탬프의 이형을 쉽게 하고 무엇보다도 마스터 황동판상의 마이크로 패턴의 손상을 주지 않는 데에 중점을 두었다.

3. 측정 평가 및 결과

마스터 황동기판 상의 마이크로 패턴의 금속 스탬프로의 복제 정밀도를 판단하기 위하여 마스터 및 스탬프 상의 마이크로 패턴의 형상을 백색광 간섭계를 통해 측정하고 비교하였다. Fig. 4 는 황동 마스터와 복제된 니켈 스탬프의 비교사진이고, Fig. 5 는 현미경 및 백색광 간섭계를 통해 측정된 결과이다. Fig. 6 은 Pitch 80 μm , height 35 μm 의 황동기판 상의 패턴과 복제된 스탬프간의 형상 비교 그래프이다. 형상오차는 4.28%로 분석되었다.



Fig. 4 Photograph of (a) Master pattern (b) Replicated nickel stamp

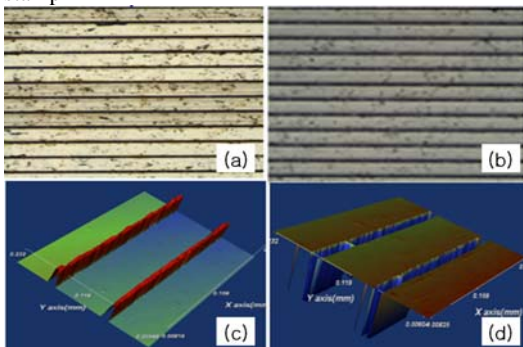


Fig. 5 Microscope image of (a) master pattern and (b) nickel stamp, white light interferometer measurement results of (c) master pattern and (d) nickel stamp

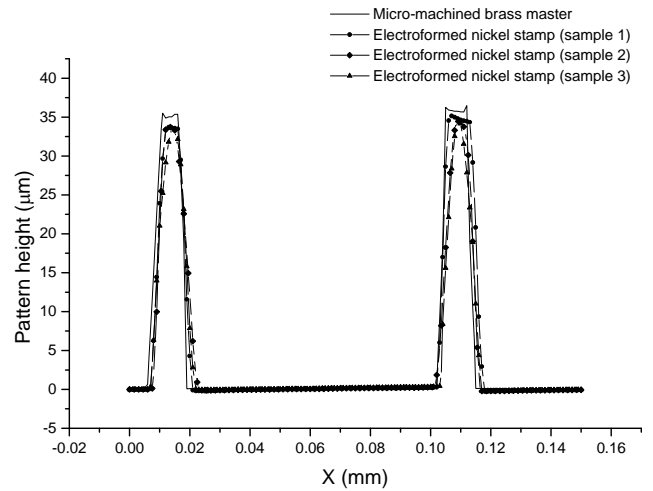


Fig. 6 Profile comparison between the master pattern and the replicated nickel stamp

4. 결론

본 연구에서는 대면적 고세장비 마이크로 패턴 스탬프 제작을 위한 대면적 전주 복제 공정기술 개발을 수행하였다. 본 연구 개발을 수행하기 위하여 전주 복제공정의 전류 제어 기술 및 Passivation 공정의 최적화를 수행하였다. 전주 공정 시 대면적에 따른 이형 및 고세장비에 대한 복제 특성에 대한 분석을 실시하였다. 그 결과 전주 복제 공정을 통하여 제작된 대면적 고세장비의 마이크로 패턴 스탬프는 기계 가공된 마스터 패턴과 4.28%의 형상 오차가 존재함을 확인하였다. 본 연구를 통해 얻어진 초기 조건을 바탕으로 보다 높은 형상 정밀도 구현이 가능한 공정 전주 복제 공정 개발이 진행 중이다.

후기

본 연구는 지식경제부 전략기술개발 사업 대면적 미세형상 가공시스템 개발 사업의 연구비 지원을 통해 수행되었습니다.

참고문헌

1. N. Lee, J. Han, J. Lim, M. Choi, Y. Han, J.Hong, and S.Kang, "Injection Molding of Nanopillars for Perpendicular Patterned Magnetic Media with Metallic Nanostamp", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.47, No.3, pp.1803-1805, 2008.
2. S.Kim, D.Kim and S.Kang, "Replication of micro-optical components by ultraviolet-molding process", Journal of Microlith. Microfab. Microsyst., Vol.2, No. 4, pp.356-359, 2003.
3. N.N Issaev, A.G. Schrodt, C. Khan Malek, "Consumption related development in microelectroforming", Microsystem Technologies, 7 44 – 46, 2001.
4. K.C. Chan, W.K. Chan, N.S. Qu, "Effect of current waveform on the deposit quality of electroformed nicks", Journal of Materials Processing Technology 89-90 447-450, 1999.
5. Hsiharn Yang a, Shung-Wen Kang, "Improvement of thickness uniformity in nickel electroforming for the LIGA process", International Journal of Machine Tools & Manufacture 40 1065-1072, 2000.
6. J. Gregori, J.J. Garcia-Jareno, F. Vicente, "Determination of time dependence of passive layer on nickel from instantaneous mass/charge function $F(dm/dQ)$ in competitive passivation/dissolution conditions", Electrochemistry Communications, 2006.