

고세장비 마이크로 패턴을 갖는 대면적 금속 스탬프 제작을 위한 전주 복제 공정개발

Development of the electroforming process for replicated large area metallic stamp with high aspect ratio micro patterns

*한정진¹, 한정원¹, 이병수¹, 임지석¹, 강신일²

*J. Han¹, J. Han¹, B. S. Lee¹, J. Lim¹, S. Kang(snlkang@yonsei.ac.kr)²

¹연세대학교 대학원 기계공학과, ²연세대학교 기계공학부

Key words : High aspect ratio micro patterns, electroforming process, large area metallic stamp

1. 서론

디스플레이 기기를 포함한 여러 분야에서 마이크로 패턴의 적용 범위가 넓어지고 있다. 일반적으로 대면적 마이크로 패턴 제작을 위해서 포토리소그래피 공정이 주로 사용되고 있으나, 복잡한 단위 공정으로 인한 원가상승 및 고세장비 패턴제작에 어려움이 있다. 이러한 한계점을 극복하기 위하여 복제 성형공정 기술인 사출 성형, 임프린팅 등이 제시되고 있으며, 이를 위해서는 최종 패턴 제작 형상의 반대 형상 패턴을 지닌 금속 스탬프 제작이 요구된다.[1-2] 본 연구에서는 기계가공으로 직접 제작이 어려운 고세장비 마이크로 Hole 및 Groove 패턴을 대면적 전주 복제 공정 기술을 이용하여 제작하는 기술을 개발하였다.

일반적으로 대면적 마이크로 패턴을 기계가공으로 제작할 경우, 마이크로 Hole 패턴 제작이 어렵거나 가능하더라도 가공시간이 오래 걸리며 마이크로 Groove 형상의 경우 고가의 초정밀 공구를 사용하여 대면적 마이크로 패턴의 가공에 적용해야하므로 가공 중 발생하는 마찰열에 의해 공구의 변형 및 파손이 일어나 가공 패턴의 정밀도가 떨어지고 공구의 재제작으로 인한 원가 상승 및 공구 교체 후 가공 재시작점을 정확하게 찾는 것이 어려움으로 대면적 마이크로 패턴의 정밀 가공에 큰 어려움이 존재한다. 언급한 여러가지 한계점을 극복하고 대면적 금속 스탬프를 대량으로 저가에 제작하기 위하여 본 연구에서는 기계가공이 용이한 공구 제작 및 기계 가공 공정이 용이한 절삭부의 크기가 큰 역상의 마이크로 pillar 및 Groove 패턴을 지닌 황동재질의 마스터를 제작하고 이를 이용 전주 복제 공정을 통해 대면적 금속 스탬프를 제작하는 공정을 제안하고, 제안된 공정을 통하여 대면적 금속 스탬프를 제작하고 이의 측정을 통하여 공정의 유효성을 검증하였다. Fig 1 는 전주 복제 공정을 도식적으로 표현한 것이다.

2. 대면적 전주 복제 공정 기술

2.1 대면적 미세 기계 가공 공정

대면적 금속 스탬프상에 마이크로 Hole 및 Groove 패턴을 제작하기 위하여 이와 반대되는 패턴을 지닌 대면적 황동 마스터를 기계 가공을 통하여 제작하였다. [3] Fig. 4(a)는 제작된 황동 마스터로 가로 250mm, 세로 300mm, 두께 15mm 기판 상에 Pitch 90 μm, 100 μm, 110 μm, 깊이 15 μm, 30 μm 인 Pillar 및 Groove 패턴을 Fig. 3 에서 보는 바와 같은 폭 81.04 μm 인 Single Crystal Diamond Tip 을 이용하여 Fig.2 에서 보는 바와 같은 마이크로 패턴을 정밀 기계가공으로 제작하였다.

2.2 부동태화층 제작 공정

전주 복제공정 기술로 황동 마스터로부터 금속 스탬프를 직접 복제 제작할 경우 황동 마스터상에 증착되는 금속 이 확산되어 제작된 금속 스탬프가 황동 마스터 상에서 이형이 되지 않게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여

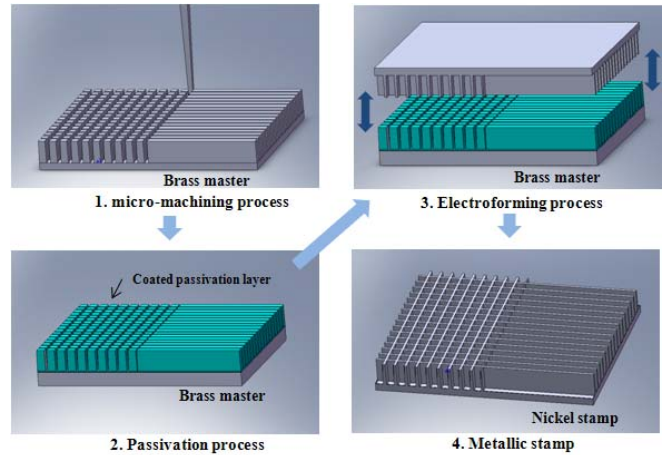


Fig. 1 Schematic Process flow

황동 마스터와 금속 스탬프 사이에 이형층이 필요하다. 본 연구에서는 이형층으로 Passivation 공정을 통하여 제작된 부동태화층을 이용하였다. 이를 통해 대면적 황동 패턴 마스터로부터 금속 스탬프의 이형을 보다 용이하게 하고 황동 마스터의 패턴의 손상을 방지하였다. 이형층인 부동태화층 형성은 DI Water 상에 Potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$) 을 녹인 5% 수용액을 이용 황동 마스터를 수용액내에 5 분간 Dipping 후 DI water 를 사용 황동 마스터 상에 잔류하는 Potassium dichromate 용액을 씻어 내는 방법으로 이루어 졌으며 Table 1 에서 이용한 공정 자료를 확인할 수 있다.

2.3 전주 복제 공정

전주 복제 공정은 전도성 마스터 패턴상에 전기/화학적 원리를 이용하여 특정 금속을 마스터 표면상에 증착하여 금속 스탬프를 복제 제작하는 공정이다. [4] 이때 증착되는 금속의 두께는 전류의 양과 전류를 흘려준 시간에 비례하게 된다. 본 연구에서는 경도 및 추후 패턴 성형 공정시의 스탬프 내구성 등을 고려하여 대면적 금속 스탬프 물질로

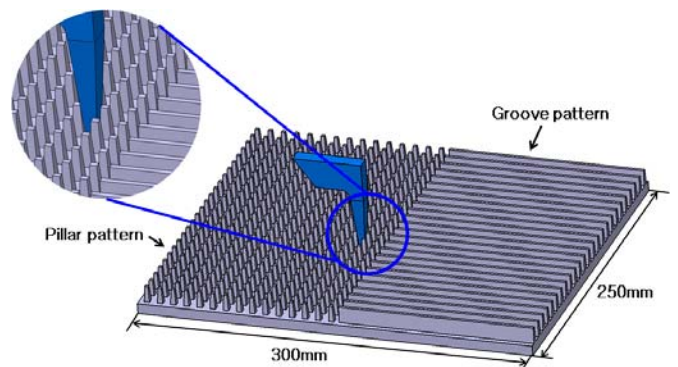


Fig. 2 Schematic drawing of fabricating brass master by micro machining



Fig. 3 Microscope image of single crystal diamond tip with width of 81.04 µm

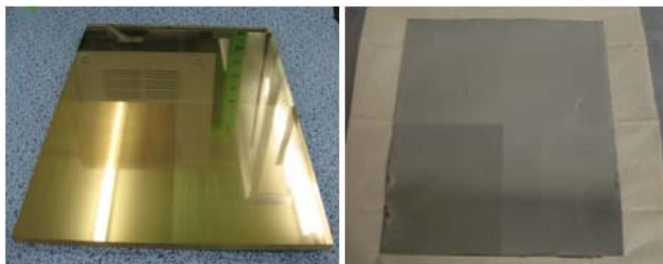
Table 1 Passivation process data

Process temperature (°C)	20
Concentration of K ₂ Cr ₂ O ₇ (g/l) in DI water	5
Dipping time (min.)	5

니켈을 사용하였고, 이를 위한 전주액으로 Nickel sulfamate solution (Ni(NH₂SO₃)₂·4H₂O)을 사용하였다. 전주 복제 공정을 통한 대면적 금속 스탬프 제작에 있어서, 금속 스탬프 내부 응력, 표면 결함, 두께 균일도 등의 제어가 매우 중요하다. 이를 위하여 Table 2 와 같이 전주 공정 시 250 liter의 전주액을 53 ± 1 °C로 유지하고 산성도는 3.8 ± 0.05로 정밀하게 유지하였으며, 전류 인가는 전주 공정 시작 후 첫 30분 동안은 Ramping time이라 하여 전류밀도를 0 mA/cm²에서부터 서서히 133 mA/cm²까지 증가시켜 전류밀도 제어를 실행하고, 이후 전류밀도를 133 mA/cm²로 유지하였다. 이러한 전류밀도의 제어를 통해 대면적 금속 스탬프 내부의 응력을 최대한 방지하여 금속 스탬프의 뒤뜰럼 현상을 방지하였다. 본 공정으로 200 µm 두께의 대면적 고세장비 마이크로 패턴 금속 스탬프를 제작하였고 제작된 대면적 황동 패턴 마스터는 Fig. 4(b)에서 확인할 수 있다.

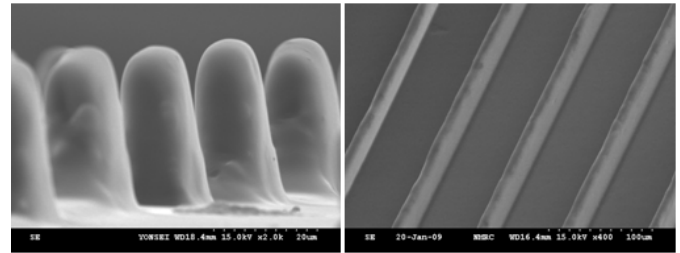
Table 2 Electroforming process data

Process temperature (°C)	53 ± 1
pH	3.8 ± 0.05
Current density (mA/cm ²)	133
Ramping time (min.)	30
Concentration of Ni(NH ₂ SO ₃) ₂ ·4H ₂ O (g/l)	380
Concentration of NiCl ₂ ·6H ₂ O (g/l)	5
Concentration of H ₂ BO ₃ (g/l)	35
Total process time (Hour)	4.5



(a) (b)

Fig. 4 Photography of (a) micromachined master, (b) micro-electroformed nickel stamp



(a) (b)

Fig. 5 SEM images of replicated (a) Hole pattern on nickel stamp, (b) groove pattern on nickel stamp

3. 측정 평가 및 결과

전주 복제 공정을 통하여 기계가공으로 제작이 어려운 마이크로 Hole 및 Groove 패턴을 지닌 대면적 금속 스탬프의 제작 가능성을 판단하기 위하여 전주 복제 공정으로 제작된 대면적 금속 스탬프 상의 미세 패턴을 Struers사의 Repliset F5를 이용 복제하여 Scanning electron microscope (SEM)로 단면 형상을 측정하고 분석하였다. 제작된 대면적 금속 스탬프 상의 패턴은 다양한 크기 패턴이 있고 그 중 가장 세장비가 큰 것은 pitch 90 µm, height 30 µm인 것이며 Fig. 5에서 보는 바와 같이 전주 복제 공정으로 제작된 대면적 금속 스탬프상 마이크로 Hole 패턴은 황동 마스터상 마이크로 pillar 패턴을 잘 옮겨 복제 제작 되었음을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 기존 기계 가공으로는 제작이 어렵거나 불가능한 마이크로 고세장비 Hole 및 Groove 패턴을 지닌 대면적 금속 스탬프의 제작 방법을 전주 복제 공정을 통한 제작으로 제시하고, 실제 제작 및 측정을 통해 그 유효성을 보였다. 본 연구 개발을 수행하기 위하여 기계 가공을 통한 금속 마스터 제작 공정과 전주 복제 공정의 전류 제어 기술 및 부동화층 형성 공정의 최적화를 수행하였다. 본 연구를 통해 얻어진 연구 결과를 바탕으로 보다 넓은 면적에 높은 세장비를 지닌 패턴의 전주 복제 공정 기술 개발이 진행 중이다.

후기

본 연구는 지식경제부의 전략 기술개발 사업으로 진행 중인 대면적 미세형상 가공시스템 기술 개발 과제(과제 번호 10030821)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Kim, H., Shin, S. C., Han, J., Han, J., and Kang, S., "Fabrication of Metallic Nano Stamp to Replicate Patterned Substrate using Electron-Beam Recording, Nanoimprinting and Electroforming," IEEE Transactions on Magnetics, **45**(5), 2304-2307, 2009.
- Kang, S., "Replication Technology for Micro/Nano Optical Components," Japanese Journal of Applied Physics, **43**(8B), 5706-5716, 2004.
- 제태진, 김재구, 박경택, 이강원, "평상에 의한 고종횡비 미세 채널 패턴 가공 연구," 한국정밀공학추계학술대회 논문집, 737-734, 2008.
- Lowenheim, F. A., "Modern Electroplating 3rd Edition," John Wiley & Sons, Inc., Canada, 1974.