

포토리소그라피를 이용한 강표면의 마이크로 패턴 제작 Micropatterning on Steel Surface using Photolithography

안창용¹, 최진호¹, 이영춘², 한무경², 채영훈^{1,*}, #김규만¹
C.Y. An¹, J.H. Choi¹, Y.C. Lee², M.K. Han², Y.H. Chae^{1,*}, #G.M. Kim¹ (gyuman.kim@knu.ac.kr)
¹ 경북대학교 기계공학부, ²주요립산업

Key words : Photolithography, tribology, micropattern, electrochemical etching

1. 서론

반도체 공정기술과 초정밀 가공기술의 발달과 더불어 미세한 표면 패턴 제작 기술이 빠르게 발전 되어 왔다. 특히 반도체 공정기술은 실리콘 기판 상에서 마이크로미터 이하의 극미세 패턴의 대량 제작이 가능하다. 반도체 공정 기술의 많은 부분을 공유하는 멤스(MEMS)공정 기술은 공정 대상 재료를 실리콘뿐만 아니라 폴리머, 금속 등으로 폭을 넓히고 있다.

금속 중에서도 강은 기계부품 중에서 가장 많이 사용되는 재질이다. 최근 마찰표면을 가공하여 마찰력을 감소하려는 연구가 활발히 이루어지고 있는데, 이를 위하여 다양한 코팅재료를 이용하여 마찰계수를 줄이는 방법과 다양한 마이크로 패턴을 이용하여 마찰력을 줄이려는 노력이 함께 진행되어지고 있다. 그 중에서 강 표면에 미세한 패턴을 새겨 넣는 마이크로 패터닝은 서로 상대운동을 하는 기계부품 접촉부에서 미세한 패턴으로 인한 표면 개질을 통하여 마찰의 최소화, 시스템 성능향상, 에너지 절감 등의 효과를 기대할 수 있다. 마이크로 패턴 제작을 위하여 주로 절삭 및 미세분사가공^[1], 레이저^[2] 등의 범용 기계 가공 기술이 적용되어 왔다.

본 연구에서는 멤스 공정의 요소기술인 포토리소그라피와 전해에칭을 통한 강 표면의 마이크로 패터닝에 대한 기초 연구를 수행하고, 전해에칭시간과 패턴의 밀도에 따른 깊이방향으로의 식각정도와 가공표면을 관찰 하였고, 그 관계를 고찰 하였다.

2. 포토리소그라피와 전해에칭

포토리소그라피는 마스크(Mask)를 이용하여 빛을 선택적으로 통과시켜 원하는 패턴을 형성하는 방법이다. 실리콘 웨이퍼위에 포토레지스트(photoresist, PR)를 얇게 입히고, 마스크(mask)를 통하여 UV 광을 조사하여 마스크 패턴을 PR 로 전사하는 방법이다^[3]. 포토리소그라피는 미세한 마이크로 패턴을 한 번의 노광작업(exposure)으로 만들 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그리고 다양한 마이크로 패턴의 제작이 용이하다. PR 을 에칭마스크로 사용하여 강표면을 전해가공 하면 강 표면의 마이크로 패터닝이 가능하다. 이번 연구에서는 실리콘 웨이퍼 대신 SKD-11 강을 사용하여 금속표면을 가공하였다. 이러한 방법은 기존의 레이저를 이용한 방법에 비해 대량생산이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

전해에칭은 전해가공과 그 의미가 유사하다. 하지만 전해가공에서는 공구의 형상에 따라 가공되어질 모양이 결정되어 지지만, 전해에칭은 공구의 형상과는 무관하게 포토리소그라피로 형성된 패턴대로 가공되어 지는 방법이다. 전해에칭의 기본적인 원리는 공작물을 양극(anode)으로 하고, 공구를 음극(cathode)으로 하여 전해액이 전기화학적 작용으로 공작물을 전기분해 시켜 제거하는 방법이다. 이번 연구에서는 공작물을 SKD-11 강(Φ6mm, t=1.3mm)과 베어링 강을 사용하였고, 음극은 구리, 전해액은 NaCl 5mol 을 사용하였다.

3. 실험

본 연구에서는 수십 마이크로 미터의 직경을 가지는 원과 직선을 강표면 위에 수 마이크로 미터의 두께로 식각하는데 그 목적이 있다. Fig. 1 에서 보는 바와 같이 폴리싱 되어진 강 시편위에 포토레지스트(AZ-1512)를 3500rpm 으로 스핀코팅 후 노광작업을 거쳐 패턴을 형성 하였다. 이후 시편과 구리를 전해액 속에 담근다. 전원공급장치의 전압(4V)과 전류(550mA) 및 시편과 구리와의 거리(5cm)고정 시킨 후 식각 작업을 진행하게 된다. 이러한 식각 작업에서 중요한 변수가 되는 것은 전해에칭시간과 전해되어지는 형상의 패턴밀도이다. 여기서 패턴의 밀도란 단위면적당 전해가공 될 패턴의 밀도를 의미한다.

결과적으로 가공하고자 하는 패턴의 깊이를 조절하고 싶다면, 전해가공 되어 질 패턴의 밀도와 에칭시간에 따른 에칭깊이에 대한 가공특성 파악이 필요하다. 본 실험에서는 전해 에칭 실험 시, 전해가공 시간에 따른 깊이를 비교하고, 가공면을 관찰해 보았다.

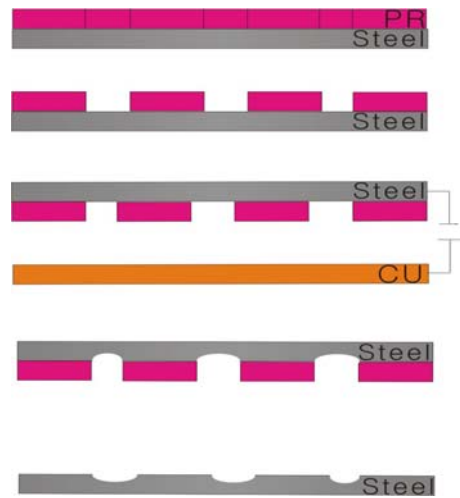


Fig. 1 Schematic diagram of micropatterning

4. 결과 및 고찰

Fig. 2 에서는 각 시편들의 현미경사진과 SEM 사진들을 보여 주고 있다. Fig. 2(a)는 포토리소그라피 공정 후 PR 패턴을 보이고 Fig. 2(b)는 전해에칭 후 강 표면의 마이크로 패턴을 보이고 있다. 모서리 부분에는 스핀코팅시 시편 경계에서 발생하는 엣지비드(edge bead)으로 인하여 두껍게 코팅된 PR 로 전해에칭이 진행되지 않았다. 패턴의 형상과 크기는 마스크 패턴에서 조절이 가능하다. 알파스텝으로 관찰한 가공표면의 거칠기는 1 μm 내외임을 관찰하였다. Fig. 2(c)와 (d)에 강 시편에 제작된 다양한 형상의 마이크로 패턴을 나타내었다.

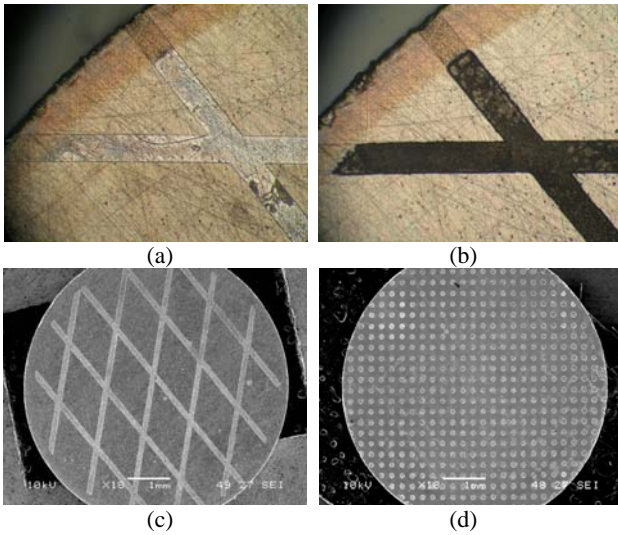


Fig. 2 Micropatterns (a) 100 μm wide groove pattern after PR development, (b) after electrochemical etching, (c) SEM image of 100 μm wide groove pattern, (d) 100 μm dimple pattern.

Fig. 3의 그래프는 전해시간 및 패턴 밀도에 따른 깊이 방향으로의 가공정도를 보여 주고 있다. 선형보정(Liner Fitting)된 값은 대부분 오차 범위 안에 있음을 알 수 있다.

SKD-11 강의 전해에칭 가공 시, 전해시간이 길어질수록 깊이방향으로 더 많이 가공되어 짐을 알 수 있다. 그리고 패턴의 밀도가 증가 할수록 전해시간은 더 길어져야 함을 관찰할 수 있다. 이는 가공되는 면적이 증가할수록 전해시간이 늘어나야 함을 잘 보여 주고 있다. 이렇게 가공된 시편은 마찰특성 실험에 응용되어, 유체윤활영역에서 마찰계수 감소에 기여할 것으로 기대된다.[4] Fig. 4는 시편 재료에 따른 가공표면을 비교한 결과이다. 가공표면의 표면프로파일을 보면 SKD-11 강의 표면이 베어링강의 가공표면보다 거친표면을 보이고 있는데, 이는 Table. 1에 나타낸 바와 같이 SKD-11에 포함된 합금 첨가물의 양이 많기 때문으로 판단된다.

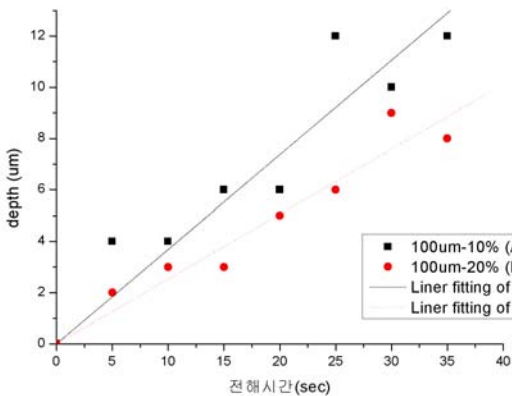


Fig. 3 Electrochemical etching characteristics of SKD-11 steel: Etching depth change according to the change of etching time and pattern density.

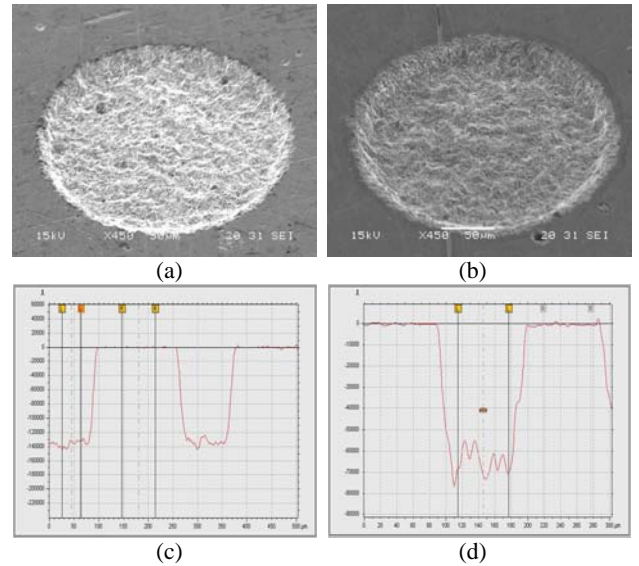


Fig. 4 Surface comparison after electrochemical etching. (a) SEM image of bearing steel surface, (b) SEM image of SKD-11 surface, (c) surface profile of bearing steel, (d) surface profile of SKD-11

Table 1 Composition of bearing steel and SKD-11

	C	Si	P	S	Mn	Cr	Mo	V	Fe
Bearing steel	0.95	0.15	0.025	0.2	0.2	1.3			97.18
SKD-11	1.4	0.4			0.6	5	1	0.3	91.3

5. 결론

본 연구에서는 금속의 표면에 마이크로 패턴의 제작 및 식각방법에 대해 연구를 수행하였다. 마이크로 패턴의 대면적, 특히 식각 시 깊이를 전해 시간으로 조절할 수 있음을 제시하였다. 이 같은 전해에칭 방법은 강도가 높은 대부분의 금속성 재료에 적용 가능 하며, 다양한 패턴 및 깊이로 가공이 가능하다.

후기

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역인력양성 사업으로 수행된 연구결과입니다.

참고문헌

1. Manabu Wakuda. "Effect of surface texturing on friction reduction between ceramic and steel materials under lubricated sliding contact" *Wear* 254, pp356-363, 2003.
2. P. Baumgart, "A new laser texturing technique for high performance magnetic disk drives. *IEEE Transactions on magnetics*, Vol. 31, No.6, pp. 2946-2951, 1995.
3. Marc J. Madou "Fundamentals of micro fabrication", pp.1-69, CRC Press, 2002.
4. Young-Hun Chae, "Friction characteristics of micro-scale dimple pattern under mixed and hydrodynamic lubrication condition. *journal of the korean society of precision engineering*, Vol. 22, No2, pp.188-193, February 2005.