

실리콘 고무형을 이용한 미세복제기술 개발

정성일* 임용관, 박선준, 최제영(부산대 대학원 정밀기계공학과), 정해도(부산대 기계공학부)

Development of micromolding technology using silicone rubber mold

S. Chung, Y. Im, S. Park, J. Choi(Mech.&Prec. Eng. Dept., PNU), H. Jeong(Mech. Eng. Scho., PNU)

ABSTRACT

Microsystem technology (MST) which originated from semiconductor processes has been widely spreaded into the other industry such as sensors, micro fluidics and displays. The MST, however, has been troubled in spreading with its high cost and material limitations. So, in this paper, new process for micromolding technology using silicone rubber mold was introduced. Silicone rubber mold, which was fabricated by vacuum casting, can be transferred a master pattern to a final product with the same shape but different materials. In order to verify the possibility of application of silicone rubber mold to the MST, its transferability was evaluated, and then it applied to the fabrications of polishing pad and PDP barrier ribs.

Key Words : Micromolding technology(미세복제기술), Silicone rubber mold(실리콘 고무형), Transferability(전사성), PDP barrier ribs(PDP 격벽), Polishing pad(연마 패드)

1. 서론

산업 수준이 향상됨에 따라 의료, 계측, 반도체, 정밀전자, 정보통신 등의 분야에서 소형부품에 대한 요구가 증대되고 있다. 현재까지 소형부품의 제작에 적용되고 있는 대부분의 공정은 반도체 기술에서 비롯된 것들이다. 대표적인 공정으로, 반도체 공정에서 가장 널리 쓰이는 재료인 실리콘웨이퍼(silicon wafer)를 이용한 박막 가공(surface micro machining)과 후막 가공(bulk micro machining)을 들 수 있다⁽¹⁻²⁾. 또한 최근에는 LIGA(lithography galvanofforming abforming) 공정을 이용한 미세복제기술이 개발되어 적용되고 있다³⁾. 그러나 실리콘웨이퍼를 이용한 이러한 공정들과 LIGA 공정에 있어서 필수적으로 사용되는 마스크를 이용한 노광(Lithography) 공정은 비용과 시간을 많이 소요하는 기술이기 때문에 반도체를 제외한 다른 분야의 양산 공정에 적용시키기에는 많은 문제점을 갖고 있다.

그래서 최근에는 이러한 마스크를 이용한 노광 공정을 배제한 미세 구조물 제작에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그 중에서 대표적인 사례가 절삭이나 연삭 또는 방전가공과 같은 기계적 가공

을 이용해 미세 구조물을 제작하는 공정과 패속시 제품제작(rapid prototyping)의 응용 기술인 MSL(microstereolithography)을 이용한 공정에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다⁽⁴⁻⁵⁾.

본 연구에서는 이러한 공정들을 이용하여 마스터 패턴을 제작한 후, 실리콘 고무형을 이용하여 원하는 소재의 제품으로 복제해 내는 기술을 이용하는 미세복제기술을 이용하여 실리콘웨이퍼나 유리의 연마에 사용되는 연마 패드와 차세대 디스플레이 중의 하나인 PDP(plasma display panel) 격벽의 성형 공정에 각각 적용해 보았다.

2. 실리콘 고무형을 이용한 복제기술

2.1 실리콘 고무형을 이용한 전사공정

본 연구에서는 실리콘 고무형을 이용하여 미세 패턴을 복제하는 기술을 개발하였는데, Fig. 1에서 대략적인 공정을 나타내었다. 우선, 마스터 패턴을 제작해야 하는데, 이 마스터 패턴의 재료는 가공에 가장 유리한 것을 선택하고, 형상은 최종적으로 얻고자하는 제품과 동일하게 제작한다. 다음 공정으로는 실리콘 고무형을 제작하고, 이것을 이용하여 마

스터 패턴과 동일한 형상을 가지면서 제품의 기능에 부합되는 소재로 제품을 제작한다. 이 공정의 장점은 마스터 패턴은 미세 패턴의 가공에 유리한 재료를 이용하여 제작하고, 최종적인 제품은 기능에 부합되는 재료를 선택할 수가 있다는 점이다. 따라서 본 공정은 실리콘웨이퍼와 같이 가공 기술이 발달된 재료를 이용하여 마스터 패턴을 제작한 후, 원하는 플라스틱이나 세라믹의 제품을 제작할 수가 있다. 또한 반도체 공정이 아닌 기계 가공과 같이 비교적 경제적인 공정을 이용하여 마스터 패턴을 제작할 수도 있다. 본 연구에서는 실리콘웨이퍼를 RIE(reactive ion etching)로 가공해서 제작된 마스터 패턴을 이용하여 연마 패드를 제작해 보았고, 또한 실리콘 웨이퍼를 다이싱 쏘(dicing saw)로 가공하여 제작된 마스터 패턴을 이용하여 PDP 패널에 사용되는 격벽(barrier ribs)을 제작해 보았다.

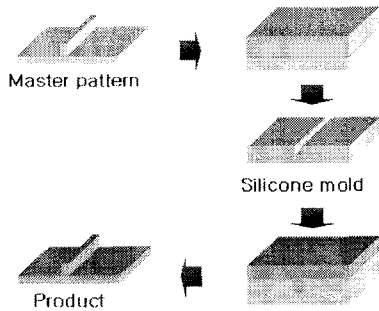


Fig. 1 Micromolding process using silicone mold

2.2 실리콘 고무형의 전사성 평가제목

실리콘 고무형을 이용한 연마 패드의 제작 및 PDP 패널 격벽의 제작에 앞서 실리콘 고무형의 전사성을 평가해 보았다. 본 연구에서 제시한 공정은 실리콘 고무형을 이용하여 마스터 패턴과 동일한 형상을 갖는 제품을 얻어내는 공정이기 때문에 실리콘 고무형의 전사성 평가는 매우 중요하다. 본 논문에서는 전사성 평가를 수행하기 위하여 두 가지 형상의 마스터 패턴을 제작하였는데, 미세한 선폭을 갖는 패턴과 높은 세장비를 갖는 패턴이 그것이다. 미세한 선폭을 갖는 패턴은 실리콘 고무형으로 전사해 낼 수 있는 미세 선폭의 한계를, 높은 세장비를 갖는 패턴은 실리콘 고무형으로 표현 가능한 세장비의 한계를 알아보기 위해 각각 실험하였다.

2.2.1 미세한 선폭을 갖는 패턴의 전사

미세 선폭의 전사성을 평가하기 위해 표면에 미세 패턴이 가공된 실리콘웨이퍼를 마스터 패턴으로 준비하였다. 패턴웨이퍼의 표면은 0~240 μm 의 패턴을 갖는 영역을 갖고 있으며, 이러한 패턴은 웨이퍼 표

면의 패턴 밀도에 따른 가공성을 평가하는데 주로 사용된다. 본 연구에서는 이 영역들 중에서 10 μm 과 20 μm 을 갖는 패턴을 대상으로 전사성 평가를 수행하였다.

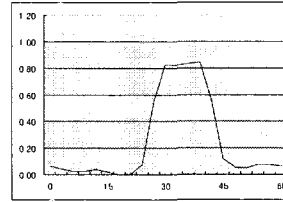


Fig. 2 Shape of 20 μm pattern on pattern wafer



Fig. 3 SEM image of silicone rubber having 20 μm pattern

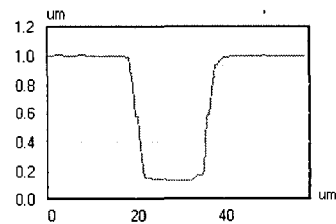


Fig. 4 Shape of 20 μm pattern on silicone rubber

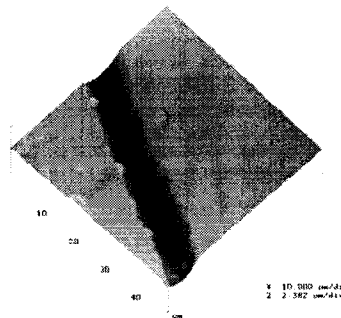


Fig. 5 Shape of 10 μm pattern on silicone rubber

Fig. 2는 패턴웨이퍼의 표면에 가공된 20 μm 패턴의 형상을 접촉식 표면 형상 측정기를 이용하여 측정된 결과이다. 그리고, Fig. 3과 Fig. 4는 실리콘 고무를 이용하여 패턴웨이퍼의 표면에 있는 20 μm 의 패

턴을 전사해 낸 결과를 나타낸다. Fig. 3은 SEM 사진을 나타내고 있으며, Fig. 4는 인텍 엔지니어링에서 제작한 비접촉식 3차원 형상 측정기인 Accura를 이용하여 측정된 결과이다. 실리콘 고무형의 경우, 소재의 특성상 접촉식에 의한 측정이 불가능하기 때문에 광학에 의한 비접촉식을 이용하였다. Fig. 2와 Fig. 4를 비교해 보면 패턴웨이퍼의 표면에 가공된 20 μm 의 패턴을 거의 유사하게 전사되고 있음을 확인할 수 있다. Fig. 5는 10 μm 의 크기를 갖는 패턴을 전사시킨 실리콘 고무의 표면을 AFM을 이용하여 측정된 결과이다. 10 μm 의 크기를 갖는 패턴 역시 전사가 가능하다는 것을 확인할 수 있다. 이상의 결과에서 살펴본 바와 같이 실리콘 고무형을 이용한 전사공정은 제품의 표면에 가공된 10 μm 크기의 미세한 패턴을 복제하는데 유용하게 사용될 수 있다.

2.2.2 높은 세장비를 갖는 패턴의 전사

높은 세장비를 갖는 패턴의 전사성을 평가하기 위해서 본 연구에서는 ϕ 0.1mm의 미세 드릴을 이용하여 엔지니어링 플라스틱의 표면에 100 μm 의 직경과 1mm의 깊이를 갖는 세장비 10의 원통형 홈을 가공한 후, 그 홈을 실리콘 고무를 이용하여 전사해 보았다. Fig. 6은 실리콘 고무를 이용하여 전사시킨 엔지니어링 플라스틱 내부의 홈의 형상을 나타낸다. 세장비 10을 갖는 홈의 형상이 그대로 복제되고 있음을 확인할 수 있다. 특히, Fig. 6(b)를 보면, 미세 드릴에 의한 가공 과정에서 원통 홈의 표면에 생긴 가공 흔적까지 그대로 전사해내고 있음을 확인할 수 있다. 실리콘 고무의 이러한 특성을 이용하여 현재까지 측정하기 힘든 재료 내부의 형상을 측정하는 데에도 응용이 가능할 것으로 생각된다. 이상의 결과를 종합해 보면, 실리콘 고무형을 이용하면, 세장비 10을 가시면서, 표면에 10 μm 크기의 미세한 패턴을 갖는 제품의 복제가 가능하다는 것을 알 수 있다.

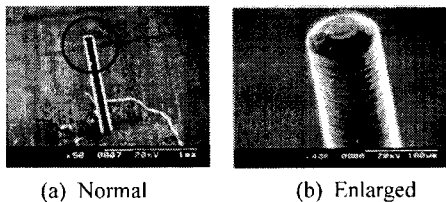


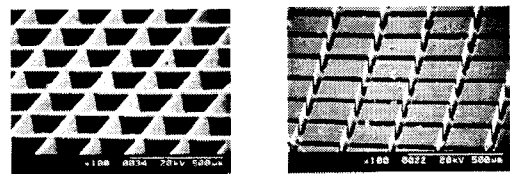
Fig. 6 Shape of hole transferred by silicone rubber

3. 실리콘 고무형을 이용한 복제기술의 적용

3.1 연마 패드의 제작

연마 공정은 금형 산업을 비롯한 거의 산업 전반에 걸쳐서 이용되는 공정이다. 특히 최근에는 반도체에 사용되는 웨이퍼의 연마와 디스플레이 기술에

주로 적용되는 유리의 연마에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다^(6,7). 연마 패드는 연마 액과 더불어 가공 특성에 미치는 영향이 가장 큰 요소 중의 하나이다. 그러나 연마 액의 경우는 화학 조성의 변화에 의해 다양한 성분을 갖도록 조절이 가능하기 때문에 다양한 연구가 이루어지고 있다. 그러나 연마 패드의 형상이 가공 특성에 미치는 영향에 대한 연구는 그 요구에 비해 많이 부족한 현실이다. 이러한 연구를 가로막는 가장 큰 장애물은 다양한 연마 패드의 형상을 제작하기 위해서는 막대한 시간과 비용이 소요되기 때문이다. 그러나 본 연구에서 소개한 실리콘 고무형에 의한 복제기술은 다품종 소량생산에 가장 적합한 기술로써, 전자나 자동차 산업에서는 이미 시제품의 제작에 널리 사용되고 있기 때문에 이러한 문제점을 해결할 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구에서는 RIE 기술을 이용해 제작된 마스터 패턴을 이용하여 연마 패드를 제작해 보았다. Fig. 7은 실리콘 고무형과 복제된 폴리에틸렌 패턴을 나타낸다. 폴리에틸렌을 제작하는 과정에서 다양한 종류의 연마 입자를 첨가하면 최종적인 연마 패드가 완성된다. 이와 같은 공정은 저렴한 비용으로, 빠른 시간 내에 다양한 형태의 연마 패드를 제작할 수 있기 때문에 연마 패드의 형태가 연마 가공의 특성에 미치는 영향에 대한 평가에 적용될 수 있으며, 나아가 연마 패드의 개발에 많은 도움이 될 수 있다.



(a) Silicone rubber (b) Polyethylen glycol pad
Fig. 7 SEM image of silicone rubber and polishing pad

3.2 PDP 격벽의 제작

Fig. 8은 본 연구에서 사용된 공정을 대략적으로 나타낸 그림이다. 본 연구에서 PDP 격벽을 제작하기 위해 사용된 마스터는 다이싱 소를 이용해 제작된 실리콘웨이퍼 패턴인데, Fig. 9(a)는 실제 제작하고자 하는 PDP 격벽의 형상을 고려하여 제작된 마스터 패턴을 나타내고 있다. 폭이 200 μm 인 다이싱 블레이드(blade)가 120 μm 의 깊이로 실리콘웨이퍼를 지나가면 블레이드가 지나간 자라는 격벽 사이의 공간이 되고 가공되지 않고 남은 부분은 격벽 형상의 구조물이 된다. Fig. 9(b)는 실리콘 고무형을 이용해 제작된 PDP 격벽을 나타내고 있다. PDP 격벽은 글라스 페이스트(glass paste)라고 일컬어지는 재료를 이용하여 제작되어진다. 실리콘 고무형에 글라스 페이스트를 도포한 후에 유리판을 그 위에 덮는 후, 충분히

경화된 글라스 페이스트를 실리콘 고무형으로부터 분리해 내고 소결 과정을 거치게 되면 최종적으로 유리판 위에 성형된 PDP 패널용 격벽을 얻을 수가 있다.

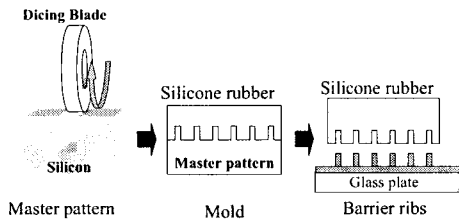
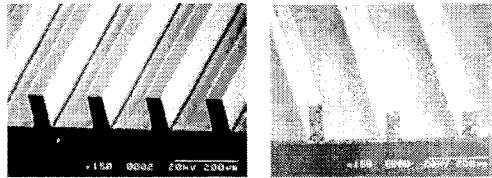


Fig. 8 Manufacturing process of PDP barrier ribs



(a) Master (b) PDP barrier ribs
Fig. 9 Master and PDP barrier ribs

4. 결론

본 연구는 기존의 미세복제기술의 대부분을 차지하고 있는 반도체 공정의 문제점을 개선하고자 하였다. 즉, 마스크를 이용한 노광 공정을 사용하는 기존의 공정은 고비용의 공정이기 때문에 반도체가 아닌 다른 산업으로 미세복제기술이 전파되는데 많은 장애가 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 마스크를 이용한 노광 공정을 사용하지 않는 새로운 미세복제기술을 개발하고, 그 적용성을 검토해 보았다. 본 논문에서 수행된 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 가공이 용이한 재료를 이용하여 마스터 패턴을 제작한 후, 실리콘 고무형을 이용하여 형상은 마스터 패턴과 동일하지만 재료는 다른 그러한 제품을 제작하는 공정을 이용하여 미세한 패턴을 전사해 보았다.

(2) 미세 선폭을 갖는 패턴웨이퍼와 고세장비의 흠을 갖는 엔지니어링 플라스틱을 마스터 패턴으로 하여 실리콘 고무의 전사성을 평가해 본 결과, 10 μ m 크기의 패턴까지 전사해 낼 수 있었고, 또한 세장비 10을 갖는 미세 홀의 전사는 물론이고, 홀의 표면에 존재하는 드릴 가공 흔적까지 전사해 낼 수 있음을 확인하였다.

(3) 연마 패드를 제작하기 위하여 RIE를 이용해 가로와 세로가 각각 200 μ m이고, 높이가 100 μ m인 정사각 기둥 형상의 패턴을 마스터 패턴으로 준비하였

고, 이러한 마스터 패턴을 이용하여 형상은 동일하지만, 연마 패드로 사용 가능한 폴리에틸렌 재질의 구조물을 제작하였다. 이러한 공정은 연마 패드의 특성에 따른 가공 특성 평가에 유용하게 이용될 수 있을 것이다.

(4) 본 연구에서 개발된 공정을 PDP 격벽 제작 공정에 적용시키기 위하여 다이싱 소를 이용하여 실리콘 재질의 PDP 격벽 형상을 마스터 패턴으로 얻을 수 있었고, 이러한 마스터 패턴을 이용하여 PDP 격벽을 제작해 보았다. 이러한 공정은 PDP의 개발 단계 또는 격벽의 형상이 PDP 특성에 미치는 영향에 대한 연구 분야에서 유용하게 사용되어질 수 있을 것이다.

후기

본 논문에 수행된 실험을 위해 애써주신 (주)일범 및 (주)코니스 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) 문수동, 강신일, 부중욱, 이영주, "미세압축성형을 통한 플라스틱 미세렌즈의 성형", 대한기계학회논문집 A, 25, 8, pp.1242~1245, 2001.
- (2) 김동성, 이광철, 이승섭, 권태현, "마이크로 채널 충전 과정의 유동 현상(I)", 대한기계학회논문집 A, 26, 10, pp.1982~1988, 2002.
- (3) J. Hormes, J. Gottert, K. Lian, Y. Desta and L. Jian, "Materials for LiGA and LiGA-based microsystems", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 199, pp. 332-341, 2003.
- (4) 이응숙, 신영재, 제태진, "절·연삭에 의한 Micro Machining 기술", 한국정밀공학회지, 17,7, pp. 5~13, 2000.
- (5) 이인환, 조동우, "극소 광 조형기술을 이용한 3차원 구조물의 제작", 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp.1080-1083, 2001.
- (6) Hoyoun Kim, Hyoungjae Kim, Haedo Jeong, "Development of an abrasive embedded pad for dishing reduction and uniformity enhancement", Journal of the Korean Physical Society, 37, 6, pp. 945~951, 2000.
- (7) Chih-Cheng Wang, Shih-Chieh Lin, Hong Hochen, 2002, "A material removal model for polishing glass-ceramic and aluminum magnesium storage disks", International Journal of Machine Tools & Manufacture, 42, pp. 979~984