

Photo Polymer 마스크와 미세입자분사가공을 이용한 미세구조물 제작

고태조(영남대 기계공학과), 박동진(영남대 대학원 기계공학과), 이인환(충북대 기계공학과),
김희술(영남대 기계공학과)

Fabrication of Micro Structure Using Photo Polymer Mask and Micro Abrasive Jet Machining

T. J. Ko(Mech. Eng. Dept. YU), D. J. Park(Mech. Eng. Dept., YU), I. H. Lee(Mech. Eng. Dept., CBNU),
H. S. Kim (Mech. Eng. Dept., YU)

ABSTRACT

Brittle materials, especially single-crystal silicon wafer, are widely used for sensors, IC industry, and MEMS applications. The general machining process of crack easy materials is by chemical agents, but it is hazardous and time consuming. Also, it is difficult to get high aspect ratio micro structure. As an alternative tool, an AJM(Abrasive jet machining) is promising method in terms of high aspect ratio and production cost. In this study, to get more precise detail compared to general AJM, photo polymer mask, SU-8, used in photolithography was applied in AJM. Process parameters such as abrasive diameter, air pressure, nozzle diameter, flow rate of abrasive in AJM and a variety of conditions in spin coating were decided. Finally, micro channel and mixer was fabricated to see the efficiency of the AJM with photo polymer mask.

Key Words: Mask(마스크), SU-8, Abrasive jet machining(입자분사가공), Micro structure(미세구조물), Micro channel(마이크로 채널), Micro mixer(마이크로 믹서)

1. 서론

최근 들어 반도체 제작공정이나 MEMS 공정 등에 적용되는 실리콘 등과 같은 세라믹 재료의 미세 가공분야가 주목 받고 있으며, 이와 관련된 경질재료의 가공에 관한 많은 연구들이 발표되고 있다. 이러한 가공의 한 방법으로서 미세입자분사가공이 주목을 끌고 있다. 특수가공의 한 분야인 미세입자분사가공(Abrasive Jet Machining: AJM)은 아주 작은 미세입자를 고압으로 분사하여 일반적인 기계가공으로써는 가공이 어려운 경도가 높고 취성이 강한 세라믹 재료를 침식시켜 원하는 형태의 구조물을 만드는 마이크로 가공방법이다.¹

미세입자 분사가공은 저가격의 장비로 경질재료를 쉽게 가공할 수 있고, 습식에칭에 비해 가공속도가 월등히 빠르며, 높은 세장비를 가지는 구조물을 만들 수 있는 장점이 있다. 미세입자 분사가공은 크랙전전이 되지 않는 기계가공 방법으로서 광

원을 이용하는 것에 비해 경제적이며 가공 변질층이 없고, 또한 화학적 방법보다 가공시간이 짧고 언더컷의 발생이 없으며 초음파가공 등의 기타 기계적 가공방법에 비해 가공능률이 높은 장점이 있다.²

본 연구에서는 미세입자 분사가공을 위하여 미세 패턴마스크를 Photo lithography 공정으로 제작하는 기법을 도입하였다. 마스크의 재료로서는 입자분사가공에 견딜 수 있는 두께 및 강도가 충분히 유지될 수 있는 SU-8 계열의 Photo polymer 를 이용하였다. SU-8 을 코팅하는데 최적의 조건들을 선정 한 후, 미세입자 분사가공에 대한 가공파라미터의 영향들을 Taguchi 실험방법을 통하여 도출하였다. 이들 가공조건으로부터 실리콘 및 Soda Lime 유리에 대한 미세형상가공을 시도하였다. 가공대상물로서는 미세채널과 마이크로 믹서이다. 이러한 가공결과로부터 본 연구에서 제안하는 방법은 미세가공물 제작에 매우 적합한 방안을 보였다.

2. 마이크로 입자분사가공

미세입자 분사가공은 모재 위에 패턴이 성형된 마스크를 씌워서 선택된 부분만 가공이 되도록 미세입자를 분사하여 가공하는 방법을 사용하는데, 일반적으로 Fig. 1과 같이 $1-5 \text{ kgf/cm}^2$ 의 공기를 분사재와 함께 분사하여 침식 시킨다.

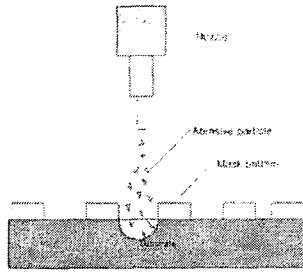


Fig. 1 Principle of the AJM process

입자가 소재에 충돌하면 Fig. 2와 같이 모재에 소성영역이 생기게 되고 충돌에너지의 전달은 소재의 제거에 직접적으로 영향을 미치는 측면크랙과 표면결함파 강도저하를 일으키는 반경크랙으로 전파된다.^{2,3} 이때 소재 제거율은 식 (1)과 같이 실험적으로 결정된다. 여기서, v 는 입자의 분사속도, d 는 입자의 직경, ρ 는 입자의 밀도, Kc 는 모재의 파괴인성, 그리고 H 는 모재의 경도이다.²

$$W \propto v^{e1} d^{e2} \rho^{e3} Kc^{e4} H^{e5} \quad (1)$$

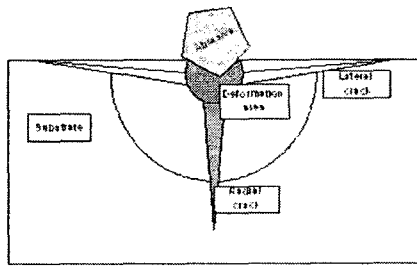


Fig. 2 The principle of material erosion

미세입자 분사가공에 사용되는 분사입자는 일반적으로 강도와 경도가 높고 화학적 성질에 안정적이고 입도가 일정해야 하며 저가이어야 한다. 일반적으로 노즐재료로 사용되는 탄화붕소보다 경도가 낮은 알루미늄, 또는 탄화규소가 주로 사용되고, 이외에 합성수지, 노바큐레트, 규석 등 여러 가지 다양한 미세 입자를 사용할 수 있다. 경우에 따라서는 가장 단단한 재료인 인조 다이아몬드 입자가 사용되기도 한다.² 미세입자 분사재의 크기는 직경이

$3-100 \mu\text{m}$ 사이의 분사재를 사용한다. 사용목적에 따라 미세입자는 둥근형상, 세각형상, 둔각다각형상이 될 수 있다.⁴

3. Photo Polymer 마스크

3.1 SU-8 네가티브 포토리지스트

미세입자 분사가공에는 기본적으로 전용 마스크가 필요하다. 마스크 재료로는 금속을 사용하는 하드마스크와 고분자를 사용하는 소프트마스크로 나눌 수 있다. 소프트 마스크는 내구성이 하드마스크에 비해서 낮지만 쉽게 미세패턴을 제작할 수 있는 장점이 있다. 주로 많이 사용되는 소프트 마스크로는 테프론 마스크, 캡톤 마스크, 3M의 샌드블라스트 스텐실 등이 있다. 이들은 모두 마이크로 크기의 패턴이 힘들어 마이크로 패턴링을 할 경우에는 일본의 ORDYL사의 BF400 시리즈가 많이 사용한다. 이것은 마스크를 모재위에 접착시키는 라미네이팅 과정 후 노광 및 현상의 공정순서로 미세패턴을 제작하게 된다. 본 연구에서는 SU-8 네가티브 포토리지스트를 마이크로 입자분사 가공마스크 재료로 사용하기 위해 photolithography 기술로 마스크를 제작했다.⁶

3.2 마스크 제작공정

웨이퍼와 마스크 사이의 접착력을 높이고 잔류물을 제거하기 위하여 웨이퍼 세정을 RCA 세정방법중의 하나인 piranha 용액 속에 120°C 의 온도로 세정 후 baking oven에서 건조를 하였다. 그리고 웨이퍼 위에 SU-8 #100을 도포하여 스핀코터(LAURELL WS-400)로 회전시켜 원하는 두께의 마스크를 생성했다. 도포 후 30분간 relaxation 시간을 가지고 soft bake를 $200 \mu\text{m}$ 두께 기준으로 55°C 에서 20분 실시 후 온도를 천천히 올려 90°C 에서 100분간 실시하고 천천히 온도를 내렸다. 다음 공정으로 노광을 350 nm 파장으로 소다라임유리는 80초, 실리콘 웨이퍼는 70초간 각각 시행하였다. 사용한 마스크 얼라이너는 독일의 Karl Suss MJB 3 1000uv 이고, 사용파장은 350 nm 이다. 실리콘 웨이퍼는 반사파의 영향으로 웨이퍼와 SU-8이 접촉된 부분에 볼록한 형태로 패턴형상이 커져서 노광 시간을 줄여서 시행하였다. 노광 후 PEB(post exposurer bake)를 55°C 온도로 20분 실시 후 천천히 온도를 올려 90°C 에서 50분간 실시하였다. 현상을 하고 마스크 패턴링 공정을 마쳤다.

Fig. 3은 SU-8을 이용해 마스크의 두께가 $200 \mu\text{m}$ 이고, 폭이 $200 \mu\text{m}$, $100 \mu\text{m}$, $50 \mu\text{m}$, $30 \mu\text{m}$ 인 사각형과 원형을 패턴링한 SEM 관찰사진이다. 사각형의 모서리부분이 명확하게 나타나고 있어 마이크

로 단위의 패턴 형성을 무리 없이 할 수 있음을 알 수 있다.

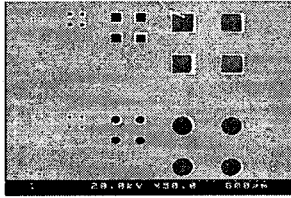
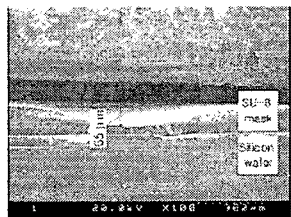


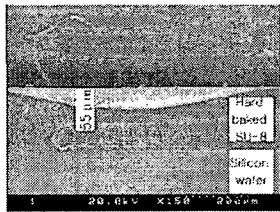
Fig. 3 SU-8 Mask with micro patterns

3.3 마스크 특성평가

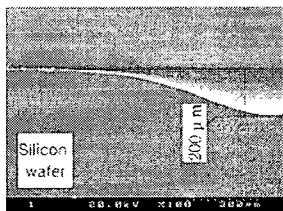
SU-8 마스크는 선택적으로 하드베이크를 실시하여 기계적 성질을 올릴 수 있는 특성이 있다. 분사 실험에서 하드베이크를 실시한 SU-8 마스크와 그렇지 않는 SU-8 마스크, 그리고 실리콘 웨이퍼를 각각 SOD 7 mm, 분사 시간을 15 초로 하고 분사를 실시한 후 마모량을 측정하여 보았다. Fig. 5(a)는 SU-8 마스크이고, Fig. 5(b)는 하드베이크를 실시한



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 Erosion of SU-8 mask (a), (b) and silicon wafer (c) with AJM (SOD 7 mm, blasting time 15 sec, 0.28 MPa, 4 gr/min).

SU-8 마스크, Fig. 5(c)는 실리콘웨이퍼를 각각 분사가공한 단면을 나타낸다. 미세입자 분사가공시 각각의 제거량이 65 μm, 55 μm, 200 μm 로 나타났다. 실리콘 웨이퍼 마모율은 SU-8 마스크에 비해 대략 3.5 배, 하드 베이크한 것의 3 배 정도 큰 것을 알 수 있다.

다음으로 0.28 mm 내경의 원형 노즐을 사용하여 150 μm 두께의 100 μm 정사각형의 SU-8 마스크 패턴을 이용하여 소다라임유리를 가공하여 보았다. 이때 분사시간은 20 초, SOD는 20 mm, 분사량은 4 gr/min 이다. 가공이 끝난 후 측정은 Nano system 사의 NS-E1500 (비접촉식 3 차원 측정기)로 측정을 하였다. Fig. 5(a), (b), (c)는 폭이 100 μm 인 정사각형 가공의 X, Y 프로파일과 3 차원 형상 측정 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 유리가 깊이 100 μm 가공될 동안 마스크의 입구 모서리부분이 30 μm의 반지름을 가지는 둥근형태로 마모가 일어났다.

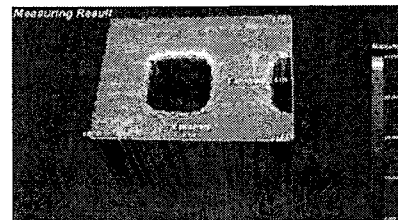
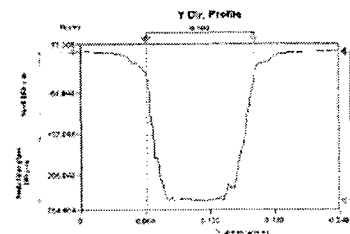
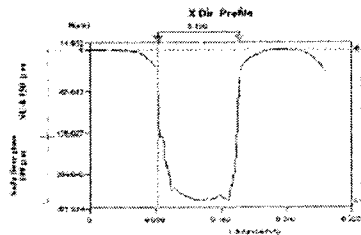


Fig. 5 Erosion profile of SU-8 masks(100x100 μm square 150 μm thickness) on a soda lime-glass. X-axis(a), Y-axis(b), 3D shape(c).

5. 적용사례

5.1 마이크로 채널

가공을 위한 최적의 조건은 Taguchi 실험계획법을 이용하여 실리콘 및 소다라임 유리에 대해 사전에 결정을 하였다. 그 중에서 가공에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 분사재 직경, 압력, SOD, 분사시간 순서였다. Fig. 6 은 0.18*3.5 mm 크기의 사각노즐을 이용하여 SOD 를 0.5 mm 로 하고, 분사압력은 80 psi, 노즐 이송속도를 0.3 mm/sec 로 1 회 분사했을 때 가공된 유리단면을 SEM 으로 관찰한 사진이다. 이때 격벽이 수직으로 가공되지 않기 때문에 노즐을 경사하여 각각벽을 만들려고 하였으며, 그림은 노즐의 경사각도를 15° 로 했을 때이다. 그림에서처럼 가공깊이가 깊어질 때에는 dry etching에서의 step 과 같이 가공이 어려움을 알 수 있다.

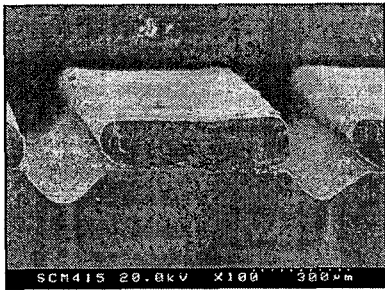


Fig. 6 Result of the slender jet experiment

5.2 마이크로 믹서

유리기판 상에 마이크로 믹싱 채널을 제작하는 실험을 해보았다. 랩온어칩에서 믹싱채널 사이즈는 대체로 길이 10 mm 내외로 제작 되고 있다. 본 실험에서는 폭 2, mm 길이 10 mm 의 크기를 가지는 3 차원 형상의 마이크로 믹서를 제작 해보았다. 여기서 채널 선포는 150 μm 이다. Fig. 7 은 제작된 3 차원 마이크로 믹서이다. 각 채널의 깊이가 일정하게 생성되고 가공시간의 감소를 위해 폭이 넓은 사각노즐을 사용했다. 여기서 각 채널 끝단 부에 작은 점으로 표시된 부분은 상측과 하측을 관통시켜

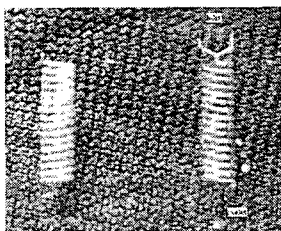


Fig. 7 Fabricated micro mixer

유체가 나선형으로 흐르도록 만드는 것이다. 또한 2 개의 inlet 부는 두 가지 유체를 주입하는 곳이고, 섞여진 유체는 outlet 부를 통하여 마이크로 믹서 밖으로 배출 된다. 이때 유리상에 마이크로 입자분사가공이 일어난 부분은 비교적 표면이 거칠어 유체이동시 미세하게 난류가 일어나 더욱 잘 섞일 수 있다.

6. 결론

본 연구는 미세입자 분사가공에서 마스크로서 Photo polymer 인 SU-8 을 Photolithography 공정으로 제작하여 미세구조물을 정밀하게 가공하는 것이다. 먼저 마스크로서의 가능성을 파악하기 위하여 미세입자 분사가공으로 마스크 및 원소재의 가공률을 비교하여 예칭성을 살펴보았으며, 가장 최적의 상태로 가공이 되기 위한 조건을 실험계획법으로 결정하였다. 이를 바탕으로 최근 관심을 끌고 있는 미세채널 및 믹서를 가공해봄으로써, 본 연구에서 제안하는 방법이 경질재료의 미세가공에 적합한 가공임을 제안한다.

후 기

본 연구는 과학재단 목적기초연구(R01-2004-000-10556-0) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Fang, C.-K., Chuang, T. H., "Surface morphologies and erosion rates of metallic building materials after sandblasting," *Wear*, Vol. 230, pp. 156-164, 1999.
2. Slikkerveer, P. J., Bouten, P. C. P., Haas, F. C. M., "High quality mechanical etching of brittle materials by powder blasting," *Sensors and actuators*, Vol. 85, pp. 296-303, 2000.
3. Slikkerveer, P. J., Bouten, P. C. P., Veld, F. H., Scholten, H., "Erosion and damage by sharp particles," *Wear*, Vol. 217, pp. 237-250, 1998.
4. 김광현, 최영현, 박동삼, "Powder Blasting 시 분사재에 따른 가공특성", 한국정밀공학회 2002 년도 춘계 학술대회 논문집, pp.520-523, 2002.
5. Bogdanov, A. L., Peredkov, S. S., "Use of SU-8 photoresist for very high aspect ratio x-ray lithography," *Microelectronic Engineering*, Vol. 53, pp. 493-496, 2000.
6. <http://aveclafaux.freesevers.com/SU-8.html>