

MEMS 공정에 적용하기 위한 마이크로 블라스터 식각 특성

조찬섭¹ · 배익순² · 이종현^{3,+}

Etching Characteristics of Micro Blaster for MEMS Applications

Chanseob Cho¹, Igsoon Bae², and Jonghyun Lee^{3,+}

Abstract

Abrasive blaster is similar to sand blaster, and effectively removes hard and brittle materials. Existing abrasive blaster has applied to rough working such as deburring and rough finishing. As the need for machining of ceramics, semiconductor, electronic devices and LCD are increasing, micro abrasive blaster was developed, and became the inevitable technique to micromachining. This paper describes the performance of the micro blaster in MEMS process of glass and succeed in domestically producing complete micro blaster. Diameter of hole and width of line in this etching is $100\ \mu\text{m} \sim 1000\ \mu\text{m}$. Experimental results showed good performance in micro channel and hole in glass wafer. Therefore, this micro blaster could be effectively applied to the micro machining of semiconductor, micro PCR chip.

Keywords : MEMS, Micro-blaster, DFR(Dry Film Resist), Micro PCR chip

1. 서 론

최근에 반도체 소자 및 마이크로머신, 바이오 소자 등에 사용되는 미세 부품에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 미세 부품을 제작하기 위한 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 공정은 대표적으로 화학용액을 이용한 습식식각, 플라즈마를 이용한 건식식각 등이 주를 이룬다. 하지만 이러한 식각 공정은 환경오염 문제와 고가의 공정비가 소모되는 단점을 가지고 있다. 마이크로 블라스터(micro blaster)는 경도가 강하고 화학적 내성을 가지며 용융점이 높아 반도체 MEMS 공정에 어려움이 있는 기판을 미세 입자를 이용하여 다양한 형태로 식각 할 수 있는 기계적인 식각 공정 이므로 기존 반도체 MEMS 공정에 사용되는 식각 공정 보다 낮은 환경오염 문제와 저가의 공정비용으로 기존 공정의 문제점을 해결 할 수 있을 것으로 생각된다. 마이크로 블라스터의 식각 원리는 고속의 날카로운 입자가 공작물을 타격할 때 입자의 아래에는 고압축응력이 발생하게 되고, 이 고압축응력에 의하여 소성 변형과 탄성변형이 발생된다. 이러한 변형이 발전되어 재료의 파괴 초기 값보다 크게 되면 크랙이 발생되고, 점점 더 발전하게 되

면 재료의 제거가 일어나는 단계로 이루어진다. 국내에서 미세 가공 공정 등의 연구는 매우 미미한 실정이고, 국외에서는 마이크로 블라스터의 가공능력이나 분사조건의 영향 등 분사가공 특성에 관한 연구[1-6]와 평판 디스플레이의 ZEUS[7] 판넬성형, 반도체나 전자제품, LCD(Liquid Crystal Display)등 응용 사례에 대한 연구가 보고 되었다[8-12].

본 연구에서는 마이크로 블라스터를 Al_2O_3 파우더의 입자 크기, 분사 압력, 노즐과 기판과의 간격, 반복 횟수, 노즐 이동 속도 등의 공정 조건에 따른 식각 특성에 관하여 분석하였다. 특히 실제 반도체 MEMS 공정에 적용 가능한지 여부를 확인하기 위하여 Glass 기판을 사용한 마이크로 PCR(Polymerase Chain Reaction)[13, 14] chip을 제작하였다.

2. 마이크로 블라스터의 기본 원리

마이크로 블라스터는 경도가 강하고 화학적 내성을 가지며 용융점이 높아 마이크로 머시닝에 어려움이 있는 기판을 다양한 형태로 식각 할 수 있는 기계적인 식각 공정 기술이라 할 수 있다. 마이크로 블라스터를 이용한 기계적인 식각은 Marshall, Maarten Buijs에 의하여 제안된 압입 이론을 응용하여 그 수학적 모델을 제시 할 수 있다. 즉 고속의 날카로운 입자가 공작물을 타격할 때 입자의 아래에는 고압축응력이 발생하게 되고, 이 고압축응력에 의하여 소성변형과 탄성변형이 발생된다. 이러한 변형이 발전되어 재료의 파괴 초기 값보다 크게 되면 크랙이 발생되고, 점점 더 발

¹경북대학교 산업전자전기공학부(School of Electrical Engineering, Kyungpook National University)

²경북대학교 산업대학원 (College of Engineering, Graduate School, Kyungpook National University)

³경북대학교 전자공학부 (School of Electronics Engineering, Kyungpook National University)

⁺Corresponding author: jhlee@ee.knu.ac.kr

(Received : Mar. 2, 2011, Revised : May. 6, 2011, Accepted : May. 9, 2011)

전하게 되면 재료의 제거가 일어난다. 일반적으로 사용되는 파우더의 종류는 알루미늄 옥사이드(Al_2O_3), 실리콘 카바이드(SiC), 글래스 비드(Glass bead)가 있다. 파우더의 강도는 $SiC > Al_2O_3 > Glass\ bead$ 순서이며, 파우더의 강도와 결정의 크기가 클수록 식각률은 증가된다.

마이크로 블라스터의 공정변수로는 크게 나누어 장비관련 변수와 환경적인 변수로 구분할 수 있다. 사용자가 조절 가능한 장비관련 변수로는 파우더의 종류, 공기의 압력, 노즐의 주사속도, 반복횟수 그리고 노즐과 기판과의 간격을 들 수 있다. 환경적인 변수는 주변습도이며 수분의 효과적인 제거는 마이크로 블라스터 공정에서 가장 중요하다. 특히 수분에 노출된 산화물 계열의 입자들은 서로 뭉치게 되어 분말이 이동하는 통로를 막아 이들의 흐름을 방해하며, 노즐 사이즈의 변형 및 노즐의 막힘 현상을 일으킬 수 있다. 이러한 현상을 방지하기 위해서 공기 건조기를 부착하여 수분을 완벽하게 제거해야 한다. Fig. 1과 같이 샘플을 받침대에 고정시킨 뒤 장비 공정조건을 입력하면 노즐이 기판 위를 좌우로 이동하면서 높은 압력과 속도의 공기에 의해 미소 파우더를 기판에 분사시킨다. 가공조건 변수로는 분사압력, 노즐 이동속도, 노즐과 기판의 거리, 파우더의 재질과 크기, 노즐의 이동거리와 공정횟수 등이 있다.

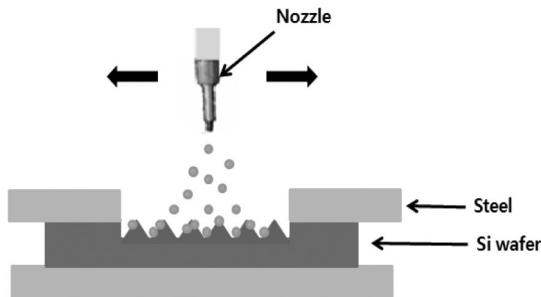


Fig. 1. Schematic of the micro blaster processing.

3. 실험

마이크로 블라스터 장비는 다양한 식각 조건과 파우더를 이용해서 사용자가 원하는 재료를 식각하는 물리적인 식각장비이다. Glass 기판 식각 특성을 확인하기 위하여 $10\ \mu m \sim 50\ \mu m$ 크기의 파우더를 이용하여 $0\ kPa \sim 500\ kPa$ 의 분사 압력, 분사 노즐 이동속도를 $0\ cm/sec \sim 100\ cm/sec$ 으로 변화시켰고, 기판과 분사노즐과의 거리는 $3\ cm$ 으로 고정하여 실험하였다. Fig. 2는 마이크로 블라스터 장비와 각각의 명칭이다. 마이크로 블라스터의 동작은 파우더 챔버(chamber)에 원하는 크기의 파우더를 주입하고 헤드의 압력스위치를 켜면 외부 컴프레서(compressor)로부터 압축된 공기가 유입되어 공기와 파우더가 혼합되어 분사하게 된다. 원하는 분사 압력은 헤드부분에서 조정하고 노즐의 이동속도, 이동거리, 반복횟수는 컴퓨터를 이용하여 제어한다. 분사된 파우더는 집

진기에 의해 다시 수집되어져 재활용이 가능하다.

마이크로 PCR chip을 제작하기 위하여 먼저 미세 채널과 미세 홀을 형성하기 위한 식각 공정에 대하여 연구 하였다. Table 1은 마이크로 블라스터 공정 조건을 나타낸 것이다. 충분한 식각율을 얻기 위하여 분사 압력은 $400\ kPa$ 으로 고정하였고, 노즐 이동 속도는 $60\ cm/sec$ 으로 고정 하여 마스크(masking) 물질의 식각을 막고자 하였다. 미세 채널과 홀을 형성하기에 알맞은 파우더를 선택하기 위하여 직경 $10\ \mu m, 50\ \mu m$ 두 종류를 사용하였다. 기판은 Soda lime glass 기판을 사용하여 미세 구조 형성 특성을 분석하였다. 미세 채널과 홀의 사이즈는 마이크로 PCR chip에 적용 가능한 사이즈를 선택하였다. 미세 채널은 $100\ \mu m \sim 600\ \mu m$ 의 폭을 가지도록 설계하였고, 미세 홀은 대략 $500\ \mu m \sim 1000\ \mu m$ 폭을 가지도록 하였다. 특히 홀은 챔버 구조와 동일하기 때문에 사각형과 원형 두 종류를 선택하여 형성하였다.

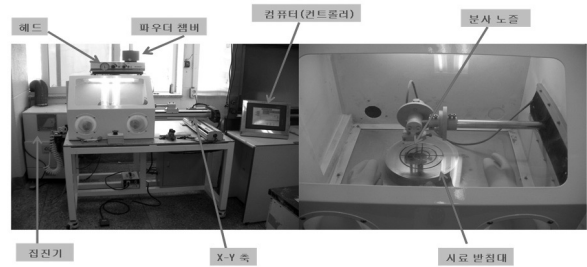


Fig. 2. Picture and name of micro blaster equipment.

Table 1. Experimental condition of micro blaster for micro channel and micro hole

| 공정 변수 | 공정 조건 |
|------------|----------------------------------|
| 분사 압력 | 400 kPa |
| 노즐 이동 속도 | 60 cm/sec |
| 노즐과 기판간격 | 3 cm |
| 파우더 크기(직경) | $Al_2O_3 : 10\ \mu m, 50\ \mu m$ |
| 노즐 이동간격 | 500 μm |

4. 결과 및 고찰

4.1 공정조건에 따른 식각특성

먼저 파우더 종류와 분사 압력, 노즐 이동 속도를 고정하고 식각 횟수에 따른 식각률을 측정하였다. 직경 $10\ \mu m, Al_2O_3$ 파우더를 분사 압력은 $400\ kPa$, 노즐 이동 속도는 $60\ cm/sec$ 으로 Glass 기판을 식각하여 SEM 촬영으로 단차를 확인하여 Fig. 3에서와 같

이 그래프로 나타내었다.

Fig. 4는 분사 압력에 의한 식각 특성을 나타내었다. 사용한 파우더 크기는 25 μm 를 사용하였고, 노즐 이동 속도는 60 cm/s, 전체 scan 횟수는 1 회였다. 압력이 높을수록 under cut이 일어나는 범위가 늘어났다.

Fig. 5는 10 μm 와 25 μm 크기의 파우더로 공정된 샘플의 표면 거칠기를 확인하기 위하여 alpha-step 단차측정으로 측정된 데이터이다.

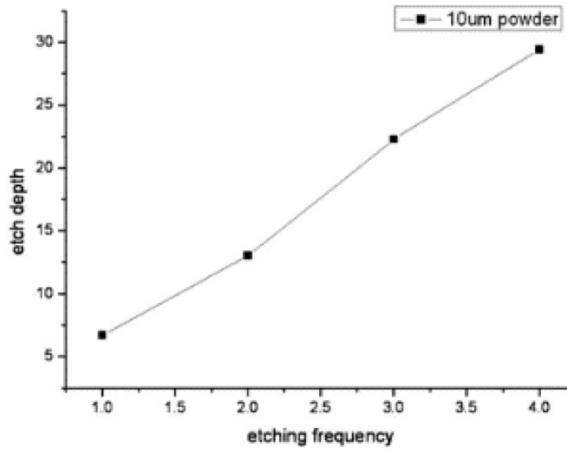


Fig. 3. Etching rate of glass substrate.

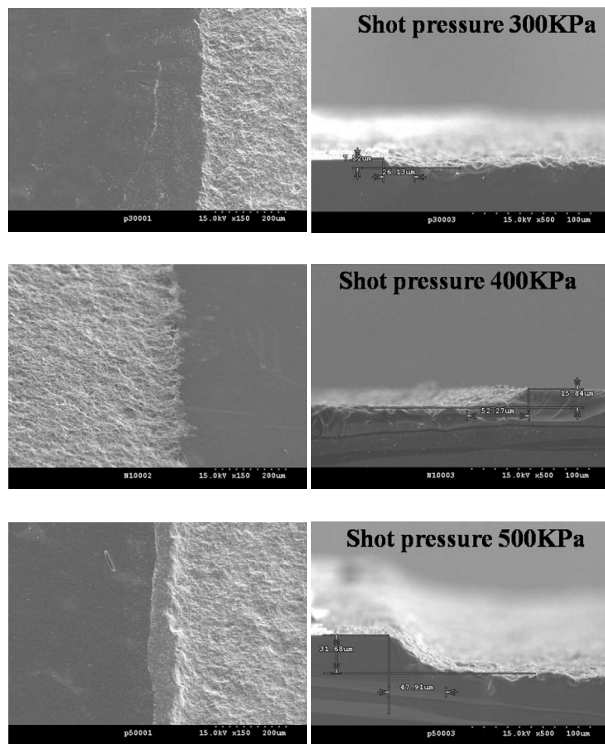
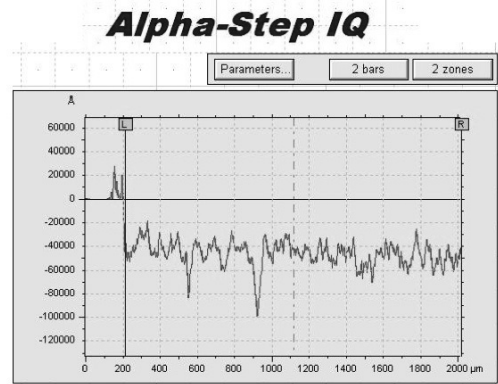
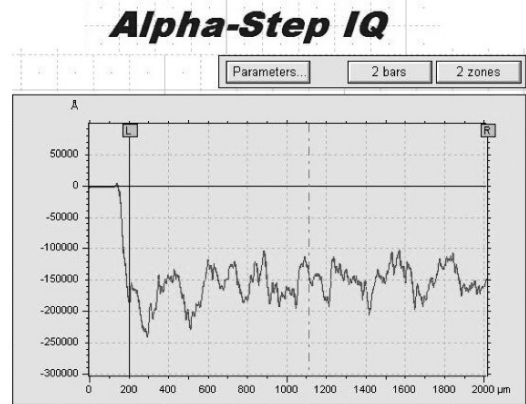


Fig. 4. SEM images of blasted glass with shot pressure(25 μm powder).



(a)



(b)

Fig. 5. Surface roughness of blasted glass with powder size of (a)10 μm and (b) 25 μm .

단차측정 데이터를 비교해보면 10 μm 크기의 파우더로 공정된 샘플은 8.3 μm 정도 식각 되었고, 거칠기는 평균 4 μm 정도 된다. 25 μm 크기의 파우더로 공정된 샘플은 21 μm 정도 식각 되었고, 거칠기는 평균 10 μm 정도 된다. 파우더 크기에 따른 식각 깊이는 거의 80 % 정도이고, 거칠기는 식각 깊이의 절반정도 된다.

분사 각도를 변형하여 가공 시 Fig. 6과 같은 형상을 얻을 수 있었다. 위의 그림에서 알 수 있듯이 분사 각도가 낮아질수록 가공 형상의 측벽에 경사가 발생 하는 것을 알 수 있다. 이는 마이크로 블라스터의 가공 특성 때문에 발생하고, 경사 각도는 분사 각도에 대하여 약 15° 정도 작게 측벽이 형성되는 것을 알 수 있다. 또한 각도가 낮아질수록 과도 식각이 일어나게 되는데 이는 입사된 파우더가 타격과 동시에 크랙을 발생시키고, 되튀어 나온 파우더가 재 식각을 일으키는 것으로 보인다. Fig. 7은 과도 식각에 관한 도식도이다. 이러한 분사 각도를 이용하여 고의적인 각도를 가지는 측벽을 적절히 가공 할 수 있다. 이러한 원리를 이용하면 외팔보등의 구조물 형성이 가능할 것으로 예상되며, 이는 마이크로 블라스터의 보다 넓은 활용 가능성을 의미한다.

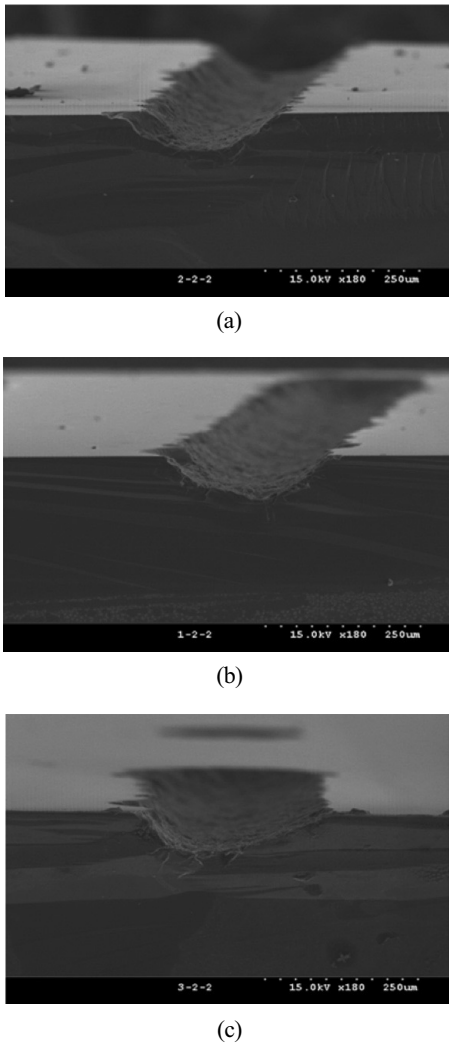


Fig. 6. cross-section SEM images of incidence angle. (a) incidence angle 90°, (b) incidence angle 75°, (c) incidence angle 60°.

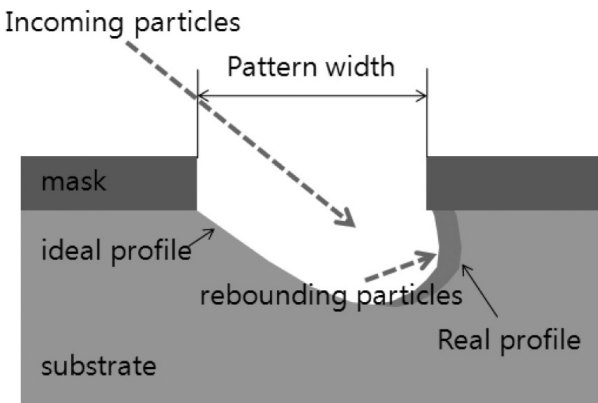


Fig. 7. Schematic diagram of wall-profile and over-ching.

4.2 미세 채널 및 미세 홀 식각 공정

Fig. 8과 Fig. 9는 50 μm와 10 μm 직경의 파우더를 사용하여 기판에 미세 채널을 형성한 후 단면 SEM 촬영을 한 사진이다. Fig.

9에서는 마스크 사이즈에 따른 마이크로 블라스터의 식각 특징이 잘 나타나 있다. 패턴 사이즈의 폭이 좁을수록 식각 단면에서 V자에 가깝게 식각 되었다. 이는 패턴 사이즈의 폭이 좁을수록 식각에 관여하는 파우더의 양이 줄어들고, 또한 1차 식각 후 재 식각되는 영향이 그만큼 줄어드는 것을 나타낸다.

Fig. 10은 50 μm와 10 μm 직경의 파우더를 사용하여 기판에 미세 홀을 형성한 후 단면 SEM 촬영을 한 것이다.

(a)와 (b)는 50 μm 파우더를 사용하였고, (c)와 (d)는 10 μm 파우더를 사용하였다. 기판에 미세 채널을 형성 할 때는 마스크 물질로 사용한 DFR이 충분한 마스크링이 되었지만 미세 홀 식각 시에는

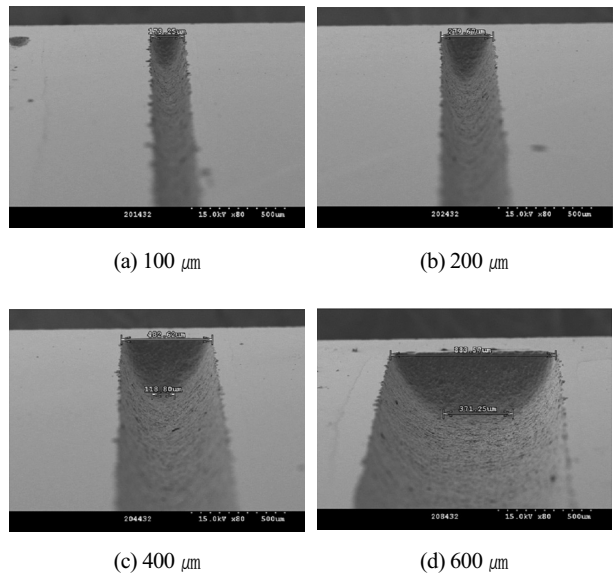


Fig. 8. Channel formation with micro blaster(Glass substrate, 50 μm powder).

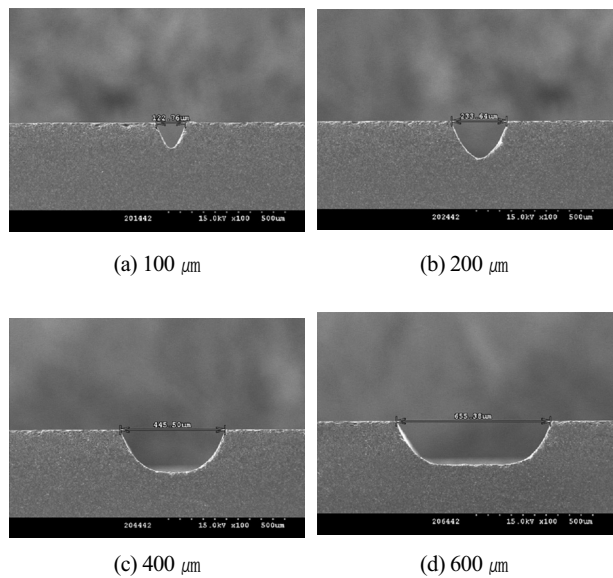


Fig. 9. Channel formation with micro blaster(Glass substrate, 10 μm powder).

Glass 기판의 경도에 의해 식각 공정 시간이 길어짐에 따라 충분한 마스크링이 되지 않았다. 특히 분사 압력이 400 kPa 이상에서와 노즐 이동 속도 40 cm/sec 이하에서 그러한 문제가 발생하였다. 본 연구에 앞서 공정 조건을 400 kPa, 노즐 이동 속도를 60 cm/sec로 고정하여 이유가 여기에 있다. Fig. 10(a), (b)에서는 충분한 식각으로 완전한 미세 홀이 형성되었고, Fig. 10(c), (d)에서는 1000 $\mu\text{m} \times 1000 \mu\text{m}$ 사이즈의 사각 홀은 완전히 미세 홀이 형성되었지만 그 이하 사이즈에서는 미세 홀이 형성되지 못하였다. 이는 1000 $\mu\text{m} \times 1000 \mu\text{m}$ 사이즈에서 미세 홀이 형성되었을 때 공정을 중지하였기 때문이다.

큰 패턴을 가지는 미세 채널이나 미세 홀을 식각 할 때와 비교적 작은 패턴을 가질 때 식각 공정의 차이를 Fig. 11에 나타내었다. 미세 홀이 형성 되는 식각 공정 진행 단계는 비교적 큰 폭을 가진 패턴에서는 완만한 곡선을 그리며 격벽이 식각 되지만 좁은 폭을 가진 패턴에서는 끝부분에서 급격한 경사를 그린다. 이는 낮은 깊이를 식각 할 때는 분사된 모든 파우더가 식각에 관여하고 중지되지만 깊게 식각 될 때는 경계 부분에서 일차 식각 시킨 파우더가 가운데 부분으로 튕겨서 재 식각을 일으키기 때문에 일정 깊이 이상에서 급격한 격벽을 가지게 되는 것이다[6].

Fig. 12는 마이크로 블라스터를 이용하여 제작된 마이크로 PCR chip의 사진이다. 그림에서와 같이 상판과 하판을 각각 제작하여 최종적으로 DFR을 이용, 접합하여 마이크로 PCR chip을 완성하였다. Glass 기판 가공법은 아직 까지도 많은 문제점을 안겨주고 있다. 하지만 본 연구에서 마이크로 블라스터를 이용하여 Glass 기판을 식각하게 되면 빠른 시간에 정확한 미세한 구조를 형성 할 수 있음을 확인하였다

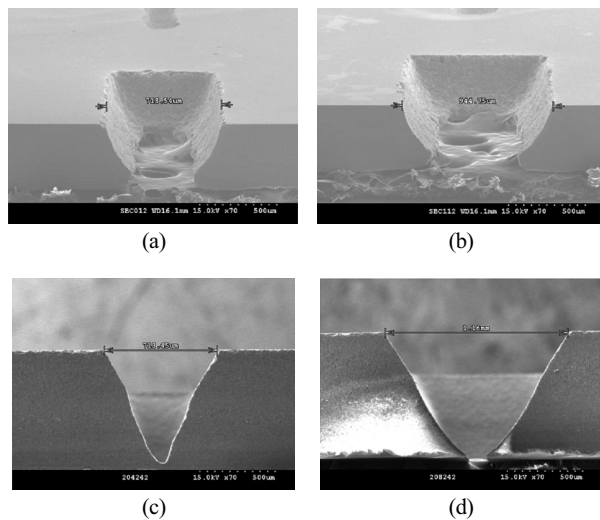


Fig. 10. Rectangular hole formation with micro blaster. (a) 500 $\mu\text{m} \times 500 \mu\text{m}$, (b) 1000 $\mu\text{m} \times 1000 \mu\text{m}$, (c) 700 $\mu\text{m} \times 700 \mu\text{m}$, (d) 1000 $\mu\text{m} \times 1000 \mu\text{m}$ ((a) and (b) : 50 μm powder, (c) and (d): 10 μm powder).

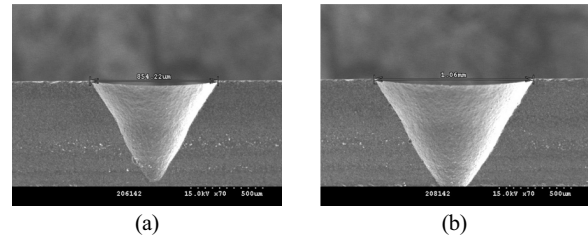


Fig. 11. Circular hole formation with micro blaster(10 μm powder) (a) \varnothing 800 μm , (b) \varnothing 1000 μm .

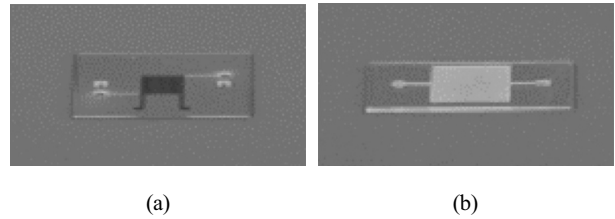


Fig. 12. Fabrication of PCR chip with micro blaster. (a) Upper glass flat, (b) Low glass flat.

5. 결론

본 논문에서는 마이크로 블라스터의 Glass 기판에서의 식각 특성을 분석하기 위하여 공정 변수를 임의로 설정하여 식각 특성을 분석하였다. 그리고 이 결과를 바탕으로 미세 채널과 미세 홀을 Glass 기판에 형성하여 마이크로 PCR chip을 제작하기 위한 공정 조건을 확인하고, 마이크로 PCR chip을 실제 설계 및 제작하였다. 현재 반도체 MEMS 공정으로 제작, 연구되고 있는 마이크로 PCR chip을 직접 제작하여 마이크로 블라스터 공정을 이용한 건식 식각 공정이 반도체 MEMS 공정 기술에 적용 가능함을 확인하였다. 본 연구의 결과를 바탕으로 아직은 세계적으로 미비한 연구 실적을 가지고 있는 마이크로 블라스터를 이용하여 보다 넓은 분야의 반도체 MEMS 공정에 적용 한다면 기존 습식 식각 공정을 이용할 때와 플라즈마 건식 식각 공정을 사용할 때보다 보다 적은 비용으로 짧은 시간에 반도체 MEMS 공정이 가능 할 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부에서 지원하는 지식경제 기술혁신사업(2010T100100575)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

REFERENCES

- [1] P. J. Slikkerveer, P. C. P. Bouten, and F. C. M. de Haas, "High quality mechanical etching of brittle materials by powder blasting", *Sensors and Actuators*, vol. 85, pp. 296–303, 2000.
- [2] Henk Wensink, U. W. Berenshot, Henri V. Jan seu, and Miko C. Elwenspoek, "High resolution powder blast micromachining", *Proceedings of the IEEE Micro electro Mechanical Sustenus(MEMS) 2000*, pp. 769–774, 2000.
- [3] P. J. Slikkerveer, M. H. A. van Dongen, and F. J. Touwslager, "Erosion of elastomeric protective coatings", *Wear*, vol. 236, pp. 189–198, 1999.
- [4] F. H. in't veld and P. J. Slikkerveer, "Towards prediction of flux effects in powder blasting nozzles", *Wear*, vol. 215, pp. 131–136, 1998.
- [5] Henk Wensink and Miko C. Elwenspoek, "A closer look at the ductile–brittle transition in solid particle erosion", *Wear*, vol. 253, pp. 1035–1043, 2002.
- [6] P. J. Slikkerveer and F.H. in't Veld, "Model for patterned erosion" *Wear*, vol. 233–235, pp. 377–386, 1999.
- [7] G. G. P. van Gorkom, "Introduction to Zeus displays", *Philips Journal of Research*, vol. 50, Issues 3–4, pp. 269–280, 1996.
- [8] H. J. Lighthart, P. J. Slikkerveer, F. H. In't Veld, P. H. W. Swinkels and M. H. Zonneveld, "Glass and glass machining in Zeus panels", *Philips Journal of Research*, vol. 50, Issues 3–4, pp. 475–499, 1996.
- [9] Kruusing, Arvi, Leppavuori, Seppo, Uusimaki, Abtti, Uusimaki, and Matti, "Rapid prototyping of silicon structures by aid of laser and abrasive–jet machining", *Symposium on Design, Test, and Microfabrication of MEMS and MOEMS*, vol. 3680, pp. 870, 1999.
- [10] S. Schlautmann, H. Wensink, R. Schasfoort, M. Elwenspoek, and A. van den Berg, "Powder–blasting technology as an alternative tool for microfabrication of capillary electrophoresis chips with integrated conductivity sensors", *J. Micromech. Microeng.*, vol. 11, pp. 386–389, 2001.
- [11] Jong Soon Choi, Keong Ho Park, and Dong Sam Park, "Micro grooving of glass using abrasive jet machining", *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, vol. 18, no. 10, pp.178–183, 2001
- [12] Y. H. Lee, J. H. Jo, S. W. Kim, D. Y. Kong, C. T. Seo, C. S. Cho, and J. H. Lee, "A study on improving the surface morphology of recycled wafer for solar cells using micro blaster", *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 19, no. 4, pp. 291–296, 2010.
- [13] L.J. Kricka, "Microchips, microarrays, biochips and nanochips: personal laboratories for the 21st century", *Clinica Chimica Acta*, vol. 307, pp. 219–223, 2001.
- [14] J.Y. Lee, J.J.Kim, and T.H. Park, "Miniaturization of polymerase chain reaction", *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, vol. 8, pp. 213–220, 2003.



조 찬 섭(Chanseob Cho)

- 1987년 경북대학교 공과대학 전자공학과(공학사)
- 1990년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1994년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1995 ~ 2008년 상주대학교 전자전기공학부 교수
- 2008년 경북대학교 산업전자전기공학부 교수

배 익 순(Igsoon Bae)

- 2010년 경북대학교 산업대학원 반도체공학(공학석사)



이 증 현(Jonghyun Lee)

- 1972년 경북대학교 공과대학 전자공학과(공학사)
- 1976년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1981년 프랑스 그레노블국립공대(INPG)(공학박사)
- 1982년 경북대학교 전자공학부 교수