

미세채널 구조물 상부의 초정밀 연마 기술 연구

강정일*, 이윤호⁺, 안병운⁺⁺, 윤종학⁺⁺⁺

(논문접수일 , 심사완료일)

A Study on the Ultra-Precision Polishing Technique for the Upper Surface of the Micro-Channel Structure

Jung-Il Kang*, Yoon-Ho Lee⁺, Byung-Woon Ahn⁺⁺, Jong-Hak Yoon⁺⁺⁺

Abstract

Micro-Channel ultra-precision polishing is a new technology used in magnetic field-assisted polishing. In this paper, an electromagnet or the jig of test system was designed and manufactured. A size of magnetic abrasive is used on 25~75 μ m and for the polish a micro-channel upper part. A surface of channel which is not even is manufactured using magnetic abrasive finishing at upper surface of micro-channel. As a result, the surface roughness rose by 80% after upper surface of micro-channel was polished up 8 minutes by polishing.

Key Words : Micro-Channel(미세 채널), Magnetic abrasive finishing(자기연마), Abrasive particle(연마입자), CMP(Chemical Mechanical Polishing), MEMS (Micro Electro Mechanical System), Microfluidic Device (미세유체 소자), MAMH (Magnetic Assisted Machining Head)

1. 서론

초정밀 산업의 발달과 더불어서 현재의 전반적인 기술동향은 제품의 소형화, 경량화, 첨단화에 대한 요구가 늘어남에 따라 미세한 부위에서의 고정밀도 작업에 대한 필요성이 점차 커지고 있다. 이는 특수가공 기술과 초정밀 연마 기

술개발에 맞춰지고 있는데, 특수가공 기술은 최소크기의 부품이라도 효과를 극대화 할 수 있는 초정밀 가공을 실현하기 위해 전해가공, CMP, 초음파가공, 워터제트, 전자빔가공, 레이저빔가공 과 함께 이를 뒷받침 할 수 있는 초정밀 연마 기술개발이 진행되고 있다.⁽¹⁾ 초정밀 연마 기술이 필요한 미세 채널은 Bio MEMS에서 사용되는 미세

* 주저자, 서울산업대학교 기계공학과 (dme18@snut.ac.kr)
주소: 139-743 서울시 노원구 공릉2동 172

+ 서울산업대학교 기계공학과 학부

++ 서울산업대학교 대학원 기계공학과

+++ 서울산업대학교 기계공학과

시스템(Micro System)이며 미세부품에 대표적인 미세전자 기계시스템, MEMS 의 응용분야인 Bio MEMS (Biochemical MEMS)는 미세채널과 밀접한 관계를 맺는데 Bio MEMS는 초소형소자로 생체신호를 분석하고, 소자의 대부분이 유체 상태의 시료를 다루거나 유체 혹은 고습도의 분위기에서 작동해야 하기 때문에 미세채널과 관련이 있다. 최근 극소량의 유체 제어 및 분석시스템 구성을 위하여 미세펌프, 미세채널 등 MEMS 기술을 이용한 미소 유체 소자의 개발이 진행되어 왔다.

최근에는 소자의 크기가 줄어들고 배선의 선포 또한 1 μ m 이하로 줄어들 뿐 아니라 여러층의 구조를 갖게 됨에 따라 공정 후에 남게 되는 미세한 돌출부분을 제거하기도 하고 이 효과는 미세채널 영역내에 남아있는 돌출부위를 선택적으로 제거하는 평탄화 공정을 한다. 미세채널은 μ m 단위의 채널구조를 가짐으로 그 가공공정의 절삭이나 연마공정 혹은 공구의 수치가 μ m 이하인 nm단위가 되어야 한다.

미세채널에 대표적인 연마 방법인 화학기계적연마 CMP의⁽³⁾기본원리는 화학적인 요소와 기계요소를 이용하여 화학적인 요소 슬러리 입자들이 웨이퍼와 패드에 접촉하여 표면이 연마되어진다. CMP 연마는 공정 메모리 디바이스로 DRAM등 적용하기도 하지만 장비나 소모재의 신뢰도 저하, 슬러리 이상발생 등은 결국 생산성을 저하시키고 미세부품의 미세채널에는 부적합하다.⁽²⁾

이와 달리 유동성을 가진 연마숫돌로 자기력선 응집현상이 일어나는 자기연마공정은 현재 안고 있는 초정밀 분야 문제에 새로운 방법을 제시해 줄 것이다. 자기연마는 전자석에 발생하는 응집된 자력으로 공구와 강자성체 사이에서 공작물 가공시 사슬구조로 형성되어 있으며 자화가 될 때 미세채널 상부의 표면을 초정밀 연마 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 미세부품의 미세채널 연마에 부적합한 CMP⁽³⁾를 개선하기 위해 미세채널 상부 표면을 연마하기 위한 연마특성과 철의 자기화 성질을 가진 자기연마를 이용하여 연마하고자 하였다.

2. 미세채널

2.1 미세채널의 구성

미세채널은 미세유체 소자중 수십에서 수백 μ m 크기의 폭을 갖는 미세한 채널에 여러 층의 유체를 함께 흘릴 수 있는 시스템이다.

미세채널의 구성과 표면 거칠기는 Table 1.2에서 볼 수

있다. 또한 웨이퍼의 결정의 방향성 때문에 채널의 벽면은 밀면과 54°의 각을 이루고 있다.⁽⁴⁾

Table 1 Structure of Micro-Channel

Length	6 mm
Width	200 μ m
Thickness	150 μ m
Height	50 μ m

Table 2 Upper Surface roughness

Surface roughness (Ra)	0.289 μ m
Maximum height surface roughness (Rmax)	3.47 μ m

2.2 미세채널 상부의 초정밀 연마

완성된 미세채널을 유리로 덮고 지그를 사용하여 가압방식으로 봉하거나 채널의 윗부분을 Glass Bonding 하면 미세채널이 완성된다. 그런데 미세채널의 상부를 지그를 사용하여 밀봉할 경우 채널 상부와 유리 사이로 누설이 발생할 수 있다.⁽⁴⁾

그 이유는 연마되지 않은 채널 상부의 표면이 평탄하지 않으므로 채널 상부와 유리면 사이에 공간이 발생되기 때문이다. 그러므로 미세채널 상부의 초정밀 연마가 필요한 것이다.

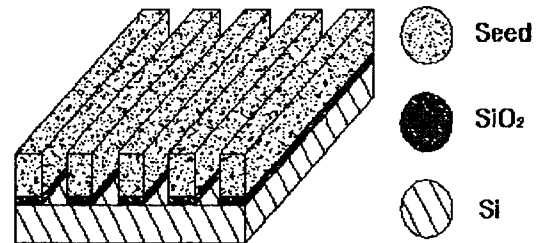


Fig. 1 Formation of Micro-Channel

Fig. 1은 미세채널의 개념도이며 자기연마시 수십 μ m 단위의 입자들이 미세채널의 상부뿐만 아니라 하부 또한 연마된다는 예상은 되지만 이는 사슬 구조를 이루게 하는 자기의 조절로 충분히 해결되리라 예상된다.

3. 자기 연마법

본 연구에서는 액상자기연마법을 채택하였으며 자기연마 가공시스템을 Fig.2.에 나타내었다.

자기연마법은 자성연마입자의 연마특성과 자성을 이용한 방법으로서, 기본적인 장치는 자력발생장치인 전자석과 전자석의 코어인 연마공구(Quill)이다. 가공원리에 대하여 간략하게 설명하면 자력발생장치에서 발생하는 자력은 연마공구를 자화시키며 연마공구의 끝단에 집중이 된다. 이때 자기연마공정에서의 중요한자인 자성연마입자를 연마공구와 가공물사이의 간극에 공급하게 되면 자성연마입자는 자력에 의하여 사슬구조로 정렬되며 이것이 유연성 있는 연마공구가 된다.

자기연마공정에서 자성연마입자가 사슬구조로 정렬되면서 가공압이 발생하며 이때 가공물이 자성체일 경우 가공압은 향상된다. 자력에 의하여 가공압이 생성된 상태에서 연마공구가 회전하면 회전력에 의하여 가공력이 발생하게 된다.

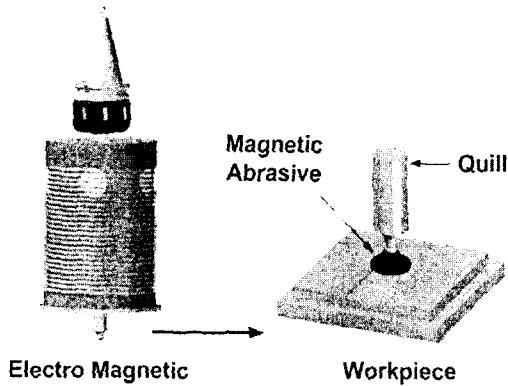


Fig. 2. Structure of polishing process

4. 실험장치 및 방법

4.1 실험 장치

미세채널의 초정밀 연마에 적용하기 위한 균일한 자기장 발생장치와 연마공구등 자기연마가공시스템의 대략적인 구조를 Fig. 3.에 나타내었다.

간략하게 설명하면 일반적으로 널리 사용되고 있는 머시닝센터의 주축에 자력발생장치인 전자석과 Quill로 구성된 MAMH를 콜릿척을 이용하여 부착하였다. 또한 공구교환

방식을 통하여 착탈식이 용이하도록 설치하였다. 또한 균일한 자기장을 발생시키기 위해 전자석에 에나멜 코일 1800회를 감고 50V, 5A의 전류를 부가하도록 설계하여 연마공구 끝단 0.5 Tesla의 자속밀도를 나타내었다. 전자석은 장시간 사용시 전류에 의한 발열이 전자석의 성능에 악영향을 미치므로 냉각과 실험에 필요한 시간을 고려하였다. 자력이 집중되는 연마공구 끝단의 재질은 SM45C로 하였고 다른 구성 요소들은 AI 2024를 사용하였다. 또한 공구의 회전시 진원도를 높이기 위하여 베어링을 사용하여지지 하였으며 누설 자장이 생기지 않도록 특수 베어링을 사용하였다.

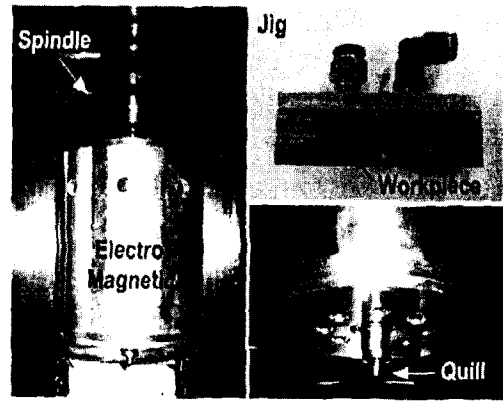


Fig. 3. Experimental set-up

4.2 실험 방법

본 실험에서는 미세채널 상부의 표면저칠기의 개선 정도를 기준으로 미세채널의 초정밀 연마에 대한 자기연마법의 적용성을 파악하고자 하였다. 적용성을 높이기 위하여 자기연마공정의 메카니즘을 고려하였다. 메카니즘에서 파악할 수 있듯이 가공물이 자성체인 경우 가공압이 높아지며 비자성체인 경우 상대적으로 낮아지게 된다. 이에 비자성체인 소재로 이루어진 미세채널에 의하여 발생할 수 있는 가공압의 약화를 방지하기 위하여 고정 지그를 제작하였다. 지그의 재질은 자성체로 하였으며 지그에 영구자석을 부착하여 자화되도록 하여 가공압의 약화를 방지하였다.

실험에 대한 조건은 예비실험의 결과를 참고하여 Table 3과 Table 4에 나타내었다. Table 3에 나타낸 자성연마입자는 연마성능이 우수한 Diamond 연마제를 결합하였으며 미세채널의 크기와 연마성능을 고려하여 25~75 μ m 크기의 자성연마입자를 사용하였다. 또한 미세채널의 초정밀 연마 실험시 연마성능을 향상시키기 위하여 자성연마입자 공급시 슬러리 형태로 공급하였다.

Table 3 The equipment of experiment

Equipment	Machining center : TNV-40A (SAEIL Co.Ltd.)
Magnetic field-assisted finishing head	Electro magnetic rod (Quill) Magnetic flux strength :0.5T (DC 50V, 2A)
Magnetic abrasive (average grit size)	25 - 75 μ m

Table 4 Experimental conditions

Magnetic polishing abrasive	Gap (mm)	Feed (mm/min)	Quill (rpm)	Workpiece
Carbonyl Iron and Diamond	0.5	20	1000	Wafer

5. 실험 결과 및 고찰

미세채널의 제조과정에서 채널의 상부에 유리판 밀봉공정이 있으므로 상부의 표면은 평탄하며 우수한 표면이 요구된다.

이에 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 미세채널 상부의 초기면과 연마 후의 면을 비교하였다. 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4의 (a) 에서는 연마 전 미세채널 상부의 형태가 예칭가공으로 인해 그 형태가 불규칙적이고 채널간의 간격 또한 일정하지 않음을 확인 할 수 있었다. 또한 유리판을 밀봉시킨 채널상부가 요철 모양의 흠이 파져있어 연마공정 없이는 누설로 인해 재 성능을 발휘 할 수 없다.

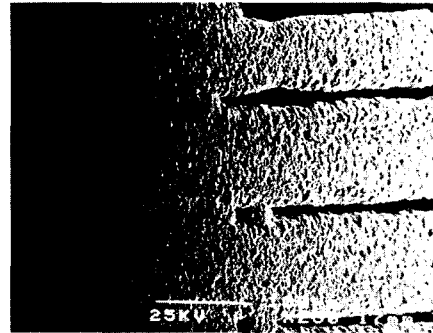
Fig. 4의 (b) 에서는 연마 후 상부의 형태를 나타내 주었고 초기 면과 비교하여 채널의 간격과 미세채널 상부의 표면이 향상된 것을 확인 하였다.

또한 연마 시간 경과에 따른 연마성능을 평균 거칠기(Ra)와 최대높이 거칠기(Rmax)로 측정하여 평가하였으며 그 결과는 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다.

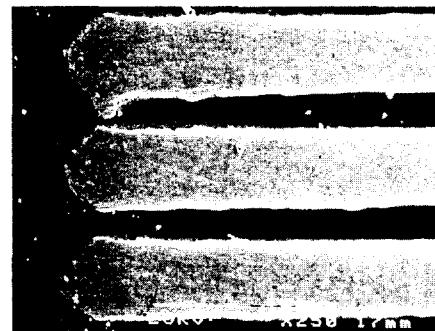
Fig. 5와 Fig. 6에서 나타내듯이 미세 채널 상부 표면이 개선되는 것을 알수 있으며, 시간에 따라서 비교적 일정하게 향상됨을 알 수 있었다.

본 실험에 사용한 자성연마입자는 실험조건에서 나타낸 것처럼 25~75 μ m 크기이며, 크기의 선정은 시편의 초기 표면거칠기를 고려하였었다. 이는 자성연마입자 크기에 따라서 초기 연마성능부터 최종적으로 얻을수 있는 표면이 어느 정도 존재 하기 때문이다. 그러므로 25 μ m이하의 자성연마

입자를 이용하여 2차 연마를 진행하면 보다 좋은 표면거칠기를 얻을 수 있었다.



(a) Before polishing



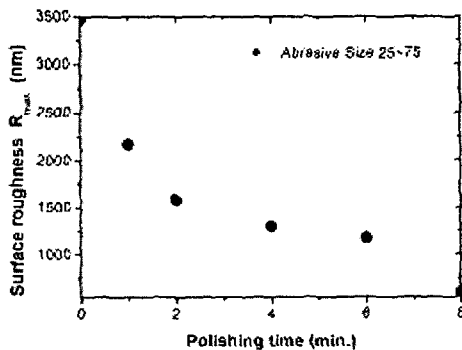
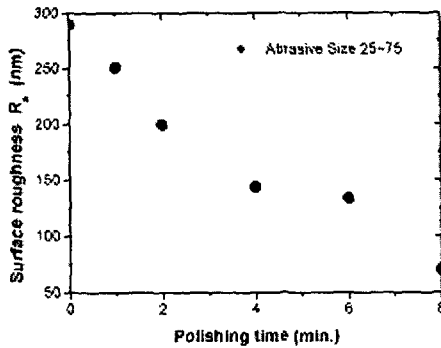
(b) After polishing

Fig. 4 The upper surface of Micro-Channel

본 실험을 통하여 미세채널 상부의 표면을 개선하기 위해 자기연마법을 적용 하여 초기에 비해 충분히 상부의 표면을 개선 할 수 있었다. 또한 자성연마입자의 크기를 알맞게 선정하여 초정밀 연마공정을 진행시 나노스케일의 표면 거칠기를 얻을 수 있다는 것을 확인하여 미세채널 상부의 초정밀 연마에 자기연마법의 적용성이 우수함을 증명하였다.

참고문헌

- (1) K. C. Kim, S. H. Kim and Y. K. Kwak, 1998, "Development of a 6 Degrees-of-Freedom Micro Stage for Ultra Precision Positioning", *Journal of the KSME(A)*, Vol.22, No.2, pp.372~379
- (2) C. W. Nam, K. S. Choi, S. D. Kim, and C. T. Kim, 1999, "The Present and Future of CMP Technology", *Prospectives of Industrial Chemistry*, Vol. 2, pp 11
- (3) S. H. Lee, W. B. Kim, B. K. Min, S. J. Lee, 2000, "Surface polishing of Micro channel using Magneto-Rheological fluid", *Proceedings of KSMTE*, pp.200-204
- (4) S. J. Lee, 2003, "The micro PIV meter alcoholic beverage for a micro Channel inside flow interpretation", *Journal of the KSME*, Vol.43. pp. 32~37
- (5) Y. C. Lee, E. S. Lee, H. J. Choi, 1997, "A Study on Ball Screw Polishing Using Magnetic Assisted Polishing", *Proceedings of the KSPE*, pp.43-47
- (6) S. J. Park, B. W. Ahn, J. H. Yoon, 2003, "Development of Ultraprecision Finishing Technique using Bonded Magnetic Abrasives", *Journal of the KSMTE*, Vol. 12, No 5 pp.59~66.
- (7) B. W. Ahn, S. J. Park, W. B. Kim and S. J. Lee, 2003, "Ultra Precision Polishing of Micro Die and Mold Parts using Magnetic Assisted Machining", *Proceedings of the KSPE*, pp.1832~1835.



6. 결론

본 연구에서는 미세 채널 제조공정에서 필수적인 상부 표면의 개선을 초정밀 연마기술의 하나인 자기연마법을 응용하였다. 그리고 미세채널 상부의 표면을 개선하여 그 적용성을 파악 하고자 하였으며 연마 시간에 따른 표면의 개선 정도를 기준으로 평가 하였다.

자기연마법의 적용성을 높이기 위하여 연마성능이 우수한 Diamond 연마제가 결합된 자성연마입자를 사용하였다. 또한 채널의 재질이 비자성체이므로 가공압의 약화를 가져올 수 있으므로 이를 방지하기 위하여 지그를 제작하여 가공압을 개선 하였다. 그 결과 미세 채널 상부의 초기 표면 거칠기를 8분 연마후 약 80%의 표면을 개선 할 수 있었으며 이때 사용한 자성연마입자보다 작은 크기의 자성연마입자를 사용하여 2차연마 진행 결과 약 90%의 표면 개선을 할 수 있었다.