

MR유체를 이용한 미세 채널구조물의 표면연마

이승환*, 김욱배(연세대 대학원), 민병권, 이상조(연세대 기계공학부)

Surface polishing of Micro channel using Magneto-Rheological fluid

S. H. Lee, W. B. Kim, B. -K. Min, S. J. Lee (Dept. of Mechanical Eng. Yonsei Univ.)

ABSTRACT

Magneto-rheological polishing is a new technology used in precision polishing. It utilizes magneto-rheological fluid, nonmagnetic polishing abrasive, aqueous carrier fluids in magnetic field to remove material from a part surface. Silicon micro channel as work piece is fixed in the slurry which is made of MR fluid and CeO₂ (10 vol%) abrasive particles. And permanent magnet rotate in the slurry to transfers magnetic force to abrasive particles by increasing yield strength of MR fluid. so, the obtained bottom surface roughness of micro channel by experiment reduced to Ra 0.010 μm Rmax 0.103 μm and finwall surface roughness of micro channel reduced to Ra 0.018 μm Rmax 0.468 μm . At optimum conditions of variables, the workpiece as silicon micro channel have about 24 times smaller surface roughness than before polishing.

Key Words : Magneto-Rheological Fluid(자기유변유체), Micro channel(미세 채널), Anisotropic etching(이방성 에칭), precision polishing(정밀연마), Fine abrasive process(입자연마).

1. 서론

미세 채널은 실리콘의 우수한 재료적 특성 때문에 대부분 실리콘을 사용하여 제작하고 있다. 미세 채널은 MEMS 공정에서 Bulk micromachining 기술 중 실리콘결정의 방향성을 이용한 이방성 에칭기술을 이용하여 제작하고 있다.

미세 채널은 미세유체 시스템이나 고발열체의 히트싱크로 쓰이고 있으며 그 활용분야에서 채널의 밀면과 옆면의 좋지 않은 표면품질로 인해 유체의 압력강하가 발생하고 이로 인해 손실을 유발하게 된다. 이러한 손실을 줄이기 위해서 화학적인 에칭 연마방법을 이용하여 미세 채널의 밀면과 옆면의 좋은 표면질을 얻기 위한 연구가 이루어지고 있다. [1],[2] 그러나, 화학적인 에칭법은 재현성에 문제가 있다.

그러므로, 본 연구에서는 구면 렌즈의 연마[5]에 쓰이고 있는 MR 유체를 이용한 연마방법으로 3 차원 구조물인 미세 채널을 연마에 활용하고자 한다.

MR 유체를 사용한 미세 채널의 연마방법은 미세채널이 3 차원 구조물이다.

그래서, 대표적인 연마 방법인 CMP(Chemical Mechanical Polishing)에서처럼 패드를 사용하여 패드

와 공작물이 직접 접촉하는 연마방법으로 CMOS 공정에서 평탄화에 쓰이는 CMP 은 부적합하고, 자성체인 자성입자와 비자성체인 연마입자의 슬러리로 공작물을 연마하는 입자연마방법인 MR 유체를 적용하여 미세 채널의 표면을 연마에 대해 연구하였다.

2. MR 유체

MR 유체는 코발트, 니켈, 철과 같은 강자성 비립자를 물, 석유와 같은 용매에 다량으로 분산시킨 일종의 콜로이드 용액으로서 유체 자체가 자성을 지니고 있어 자기장 인가 시 강한 자화(Magnetization)를 발생하여 유체 자체의 물리적, 화학적 특성이 변화하게 된다.[3]

MR 유체는 자장이 부과되면 자화되는 자성입자를 비자성의 유체 중에서 다량으로 분산시킨 유체로, 자장이 부과되면 비자성 유체에 분산된 자성입자는 쌍극자의 상호작용에 의하여 자장의 방향과 평행하게 연결고리를 형성한다. 이러한 연결고리는 비자성 유체의 흐름을 방해하므로 항복응력을 증가시키는 작용을 한다. 자장이 부과되지 않을 경우에는 일반적인 뉴턴성(Newtonian) 유체와 같은 거동

을 한다.

3. 연마원리

MR 유체를 사용한 연마는 기본적으로 연마입자에 자기장이라는 외부의 힘을 전달하는 방법을 사용하여 표면의 손상과 잔류응력을 최소화하고 그에 따라 표면 품질을 상승시킬 수 있는 연마방법이다. 자기장 내에서 자성유체의 항복응력이 증가하는 성질과 자성유체의 빙햄 유체와 같은 거동에서 가공력을 공작물에 전달하여 가공을 이루어 내는 방법이며, 연마 입자와 자성유체로 만들어진 슬러리는 자기장의 방향에 따라서 존재하게 되며 자기장의 분포에 따라서 각각의 영역에서 일정한 항복응력 값을 갖게 된다.

MR 유체는 변화되는 항복응력을 갖는 Bingham 소성체로 나타내어지며, 자장에 의한 항복응력보다 큰 전단력이 가해질 경우에는 유동은 식(1)과 같은 Bingham 식으로 나타내어진다.

$$\tau = n_0 \dot{\gamma} + \tau_d(H) \operatorname{sgn}(\dot{\gamma}), \quad |\tau| \geq |\tau_d(H)| \quad (1)$$

여기서 τ 는 전단응력, n_0 는 소성 점도, $\dot{\gamma}$ 는 전단속도, $\tau_d(H)$ 는 자장에 의한 전단력 즉, 항복응력, G 는 콤플렉스 모듈러스(complex modulus)이다.

위 식에 따라 MR 유체는 자기장의 세기가 증가함에 따라 전단응력이 증가하게 된다. 이렇게 증가된 전단응력이 연마에서 재료를 제거하는 중요한 요소로 작용하게 된다. 그리고, 자성체 내에서 비자성체는 부양력을 받게 되고 이러한 부양력으로 인해 MR 유체 내에서 비자성체인 연마입자들은 자기장이 센 영구자석에서 자기장의 세기가 약한 공작물 쪽으로 밀어내어진다.[4] 식(2)는 이러한 부양력을 표현한 식이다.

$$\frac{F_B}{V} = (\rho_f - \rho_s)g - \frac{M \cdot \nabla H}{4\pi} \quad (2)$$

F_B : levitational buoyant force

V : volume of abrasive particle

ρ_s : mass density of abrasive

ρ_f : mass density of magnetic fluid

g : acceleration due to gravity

M : ferric induction of magnetic fluid

∇H : gradient in the magnetic field

자기장 인가 시 증가된 전단응력과 부양력을 받는 슬러리는 Fig. 1.에 나타내었으며 채널을 따라 슬러리의 흐름을 주었을 때 채널의 표면을 연마하게 된다.

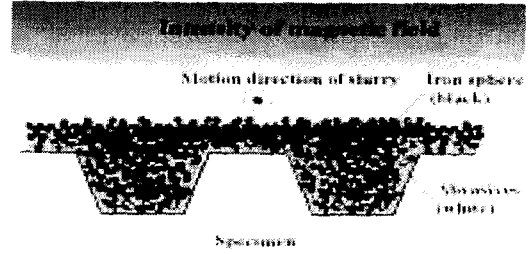


Fig. 1 Schematic diagram of part surface.

4. 실험 및 결과

4.1 미세 채널의 제작

미세 채널은 Bulk micro machining의 이방성 에칭기술(Anisotropic etching)을 이용하여 실리콘 결정 방향이 (100)인 웨이퍼를 사용하였으며, 에칭 마스크로는 웨이퍼의 이방성 에칭, 웨이퍼 기판의 보호, 연마에 의한 채널의 뭉개짐을 보호하기 위하여 3~5 μm 의 구리 박판(Cu-Thin film)과 1 μm 의 Oxide를 사용하였고, 에칭액은 수산화칼륨(KOH)용액을 사용하였으며 그 농도는 20% 수산화 칼륨용액을 사용하였고 온도는 에칭마스크의 보호성을 고려하여 70 $^{\circ}\text{C}$ 에서 에칭하였다. 이와 같은 조건으로 제작된 미세 채널은 (100) 웨이퍼의 결정의 방향성 때문에 채널의 벽면은 밑면과 54.74 $^{\circ}$ 의 각을 이루고 미세 채널의 폭은 200 μm , 채널의 두께는 150 μm , 채널의 높이는 50 μm , 길이 6mm의 시편당 26개의 미세 채널로 제작하였다.

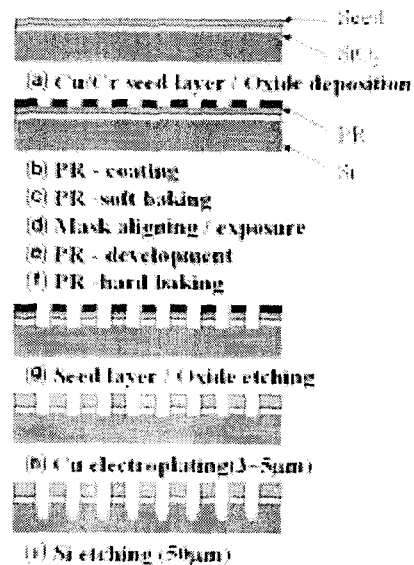


Fig. 2 Fabrication process of Micro channel.

Fig. 2 에 미세채널의 제작과정을 나타내었고 채널의 밑면은 $Ra = 0.241\mu\text{m}$, $Rmax = 0.853\mu\text{m}$, 채널 옆면은 $Ra = 0.097\mu\text{m}$, $Rmax = 1.204\mu\text{m}$ 의 표면 거칠기를 보였다,

4.2 실험장치 및 방법

실험 장치는 크게 이송 및 회전 장치와 영구자석, 그리고 MR 유체와 연마재를 혼합한 슬러리를 담아서 가공이 일어나는 용기로 구성되어있다. 고속으로 회전할 수 있는 스피들과 Z 방향으로 정밀한 이송과 제어가 가능하여 정확한 높이에서 가공이 일어나게 한다. 또 Y 방향의 왕복이송으로 10x10mm 의 미세 채널 전체 표면을 균일하게 연마하는 방법을 취하였다.

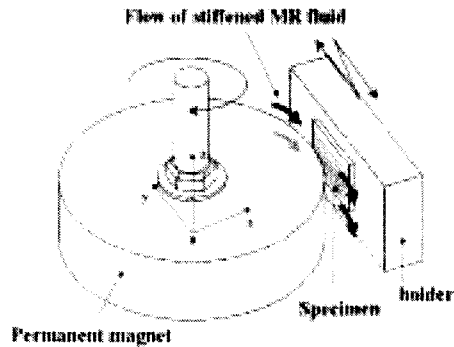


Fig. 3 Scheme of polishing method.

4.3 실험결과

영구자석과 공작물의 거리를 7mm, 연마재 첨가량은 10 vol%로 하고 가공시간, 회전속도에 따른 3차원 채널 구조물의 표면 거칠기에 미치는 영향을 파악하고 채널의 뭉개짐을 해결하는 두 가지 조건을 만족하는 실험조건을 얻기 위해서 채널의 윗면에 있는 구리 박판과 에칭된 실리콘의 가공량을 살펴보았으며, 실험결과는 Fig. 4 과 Fig. 5 에 나타내었다.

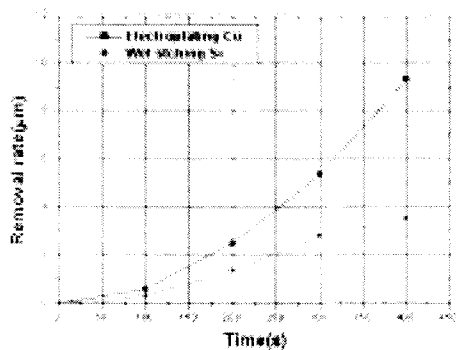


Fig. 4 Removal rate of thin Cu film and etching by time.

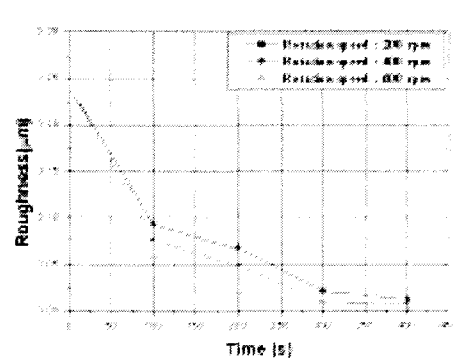
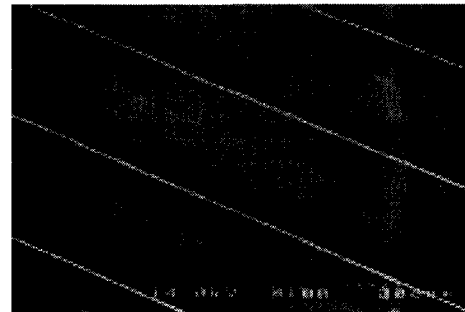


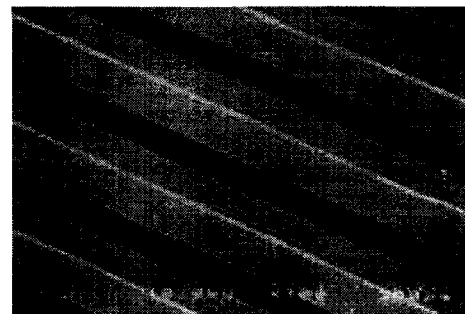
Fig. 5 Roughness of etching Si by time and rotation speed.

위와 같은 실험을 통해서 얻은 결과를 바탕으로 미세채널의 밑면과 옆면의 표면을 향상 시키고 채널의 모양은 유지할 수 있는 적합한 실험조건으로 회전속도는 250 rpm, 가공시간은 5min, 공작물 왕복은 분당 120 회로 하고 미세 채널을 연마하였다.

다음의 Fig. 6 와 Fig. 7 는 미세채널의 연마 전과 후의 SEM 이미지이고, Table 1 에 그 결과를 정리하였다.

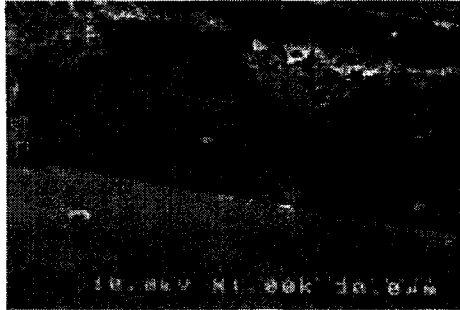


(a) Before polishing.

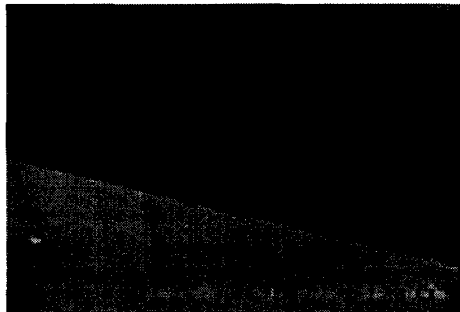


(b) After polishing.

Fig. 6 Polishing Micro channel used MR fluid.



(a) Before polishing.



(b) After polishing.

Fig. 7 Polishing fin wall of Micro channel used MR fluid.

Table 1 Experiment result.

	Before polishing	After polishing
Bottom	Ra : 0.241 μm	Ra : 0.010 μm
Fin wall	Ra : 0.097 μm	Ra : 0.018 μm

4. 결론

본 연구는 MR 유체를 이용해 미세 채널의 표면을 연마하였다. 실험결과 연마 후 채널의 모양은 유지되었고 밑면과 옆면이 초기의 표면 거칠기보다 상당히 향상된 표면을 얻을 수 있었으며 구리박막을 채널의 윗면에 증착시켜 연마 후에 발생했던 채널의 뭉개짐을 해결할 수 있었다.

이러한 미세 채널의 연마에 의해서 미세 유체 시스템으로의 응용이 기대되며 Micro mirror 와 같은 다른 3 차원 미세 구조물에 적용이 가능할 것이다.

참고문헌

1. Kazuo Sato, Mitsuhiro Shikida "Roughness of single crystal silicon surface etched by KOH water solution," Sensor and Actuators, vol 73, p122-130, 1999.

2. V. K. Dwivedi, "Fabrication of very smooth walls and bottom of silicon microchannels for heat dissipation of semiconductor device," Microelectronics, vol 31, p405-410, 2000.
3. Berkovsky B. M., "Magnetic Fluids," Oxford University Press, 1993.
4. Rosensweig R. E., "Ferro Hydrodynamics," Dover Publications, Inc, 1998.
5. Aric Bruce Shorey., "Mechanisms of Material Removal in Magnetorheological Finishing of glass," University of Rochester, 2000.
6. 이희원, "자성유체를 사용한 단결정 실리콘 웨이퍼의 연마방법에 대한 연구," 연세대학교 대학원 기계공학과 석사논문, 2002.