

ER유체를 이용한 마이크로 폴리싱 특성

Characteristics of Micro-polishing using the Electro-rheological Fluid

이재종, 이용숙, 황경현(한국기계연구원), 민승기(충남대 대학원)*

J. J. Lee, E. S. Lee, K. H. Hwang (KIMM),

S. K. Min (Graduate School, ChungNam Nat'l Univ.)*

Abstract

In the recent, electro-rheological fluid has been used for micro polishing of the 3-dimensional micro-aspherical lens and some sectional parts with defects on the wide flat wafer. The ER fluid has the properties that its viscosity has drastic changed under some electric fields. Therefore, ER fluid can be applicable to the micro polishing for some parts using these properties. In this paper, the experimental device has been constructed using the precision milling machine in order to micro polishing for some sectional parts of a 4 inches wafer. It is consisted of a small steel electrode, a wafer fixture, DC10mA and 5KV power supply unit, and a controller unit. Using the ER experimental device, possibility of amending for wide flat wafer and micro polishing of some micro part has been analyzed.

Key words : micro polishing, electro-rheological fluid, micro parts, and abrasive

1. 서론

최근에 광, 정보통신 및 의료분야 등 첨단기술이 급속히 발전하면서 첨단산업 전반에 걸쳐 소형화, 경량화 및 다기능화가 급속히 진행되고

있다. 이에 따라, 초정밀형상 부품의 수요가 급속히 증가하고 있다. 이외에 미소 비구면 부품 및 반도체웨이퍼의 대량생산을 위한 금형가공기술이 요구되고 있다.

이러한 마이크로 부품은 500A 수준의 표면조도를 요구하고 있어 기존의 가공방법으로는 요구되는 높은 수준의 표면조도 및 형상정밀도를 얻기가 곤란하다. 따라서, 이러한 초정밀부품을 개발하기 위한 초정밀 가공기술이 요구된다. 이러한 가공기술에는 CMP, MRF와 ERF가공방법이 연구되고 있다.

CMP는 화학적 분위기에 의하여 공작물의 표면을 제거하기 쉬운 반응층으로 변화시켜 가공하고, MRF와 ERF는 자성유체나 전기점성유체를 이용하여 가공물 표면에 작용하는 전단력으로 가공하는 방법이다. 이러한 연마가공은 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

- 1) 연마입자, 연마액의 크기에 따른 공작물 표면의 선택적 연마가 가능
- 2) 수 μm 의 연마입자로 가공물 표면의 무결함 가공이 가능
- 3) 크랙 및 소성변형에 의한 가공면질층이 없음
- 4) $\lambda/30$ 의 형상정도와 $\lambda/250$ 이하의 표면조도를 갖는 미세하고, 복잡한 표면의 초정밀 연마가 가능
- 5) 300mm웨이퍼의 500A이하의 광역평탄화 가공이 가능
- 6) 연마공구로 전·자장을 사용함으로써 소모성의 연마패드가 불필요한 경제적인 초정밀가공

방법이다.

본 연구에서는 실리콘 오일에 분산시킨 ER유체와 연마재로 Green ceramic, Optical emery 및 Diamond를 사용하여 4inch 웨이퍼의 래핑면에 대한 평탄화 가공실험을 수행했다.

이 실험에서 ER유체의 가공특성, 공급되는 전기장의 크기에 따른 연마특성 및 연마재의 특성에 따른 연마특성을 분석했으며, 이러한 실험결과는 향후 광대역웨이퍼 평면의 평탄화 및 미소부품의 국부적인 연마가공에 활용할 계획이다.

2. ER유체의 특성

ER유체는 외부에서 걸어주는 전기장의 강도에 비례하여 유동특성이 변하며, 작용하는 전기장에 따라 ER유체는 급속히 굳어지는데 이러한 현상은 이온, 전자, 쌍극자 등에 의한 전하이동에 기인한다.

이러한 ER유체는 작동모드에 따라 Shear mode (rotational shear mode), Flow mode 및 Squeeze mode로 구분한다.

Shear mode는 평행한 두 개의 전극에서 한쪽의 전극이 고정되고, 다른 쪽의 전극이 회전 또는 이동을 하는 형태이다. Flow mode는 두 전극이 고정되어 있고, 고정된 두 전극사이로 유체가 이동하는 형태이며 관내 유체의 압력변화와 유량변화가 동시에 일어나는 형태이다. Squeeze mode는 유체의 유동과 전극의 움직임이 수직된 방향으로 일어나는 모드이다. 본 연구에서는 Shear mode에서 ER특성실험을 수행하였다.

이러한 ER유체의 거동은 유체의 특성에 따라 다르나 Laminar flow로 가정하여 Bingham body로 모델링되며, 다음과 같은 식(1)으로 모델링된다.

$$\tau = \eta \dot{\gamma} + \tau_y(E) \quad (1)$$

여기서, τ 는 전단응력, $\dot{\gamma}$ 는 전단속도비, η 는 점도를 의미하며, $\tau_y(E)$ 는 ER유체의 항복 전단응력을 나타낸다. $\tau_y(E)$ 는 전기장의 함수로, 부하된 전기장의 강도에 비례하여 지수함수적으로 증가한다.^[3]

본 연구에서는 Shear mode를 이용하여 평탄화 가공을 수행하였고 가공원리는 Fig.1과 같다.

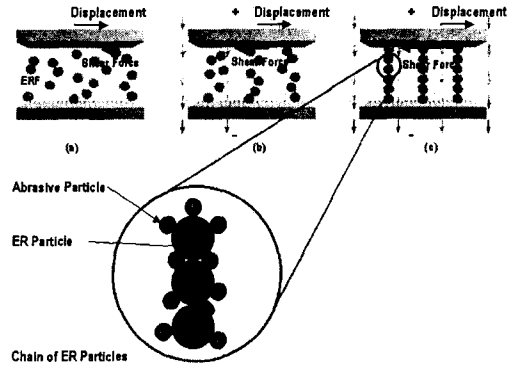


Fig.1 Schematic diagram of the mechanism for the ER fluid behavior

Fig.1과 같이 양단의 전극사이에서 ER유체와 연마재를 공급한 후 양단의 전극에 전기장을 걸어주면 전술한 바와 같이 ER유체는 급속히 굳어지고, 각각의 ER입자 주위에 연마재가 전하이동에 의해서 부착하게 된다. 이러한 상태에서 회전전극을 회전시키게 되면 미소연마가 진행된다. 이때, ER유체의 전단응력은 공급되는 전기장의 크기에 지수함수적으로 증가하기 때문에 전기장의 크기에 따라 연마특성을 결정할 수 있다.

다음 Fig.2는 ER유체의 가공조건과 특성을 보여준다.

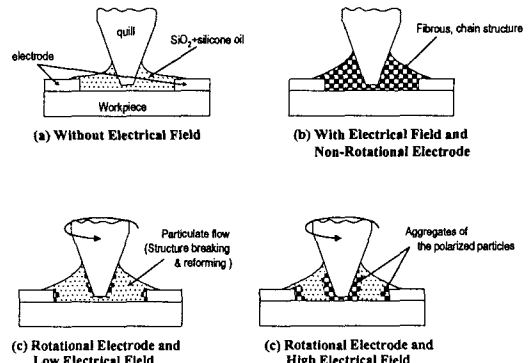


Fig.2 Schematic diagram of the mechanism for the ER fluid characteristics

3. ER유체 실험장치

웨이퍼의 평탄화를 위한 ER유체 실험장치는 Fig.3과 같이 가공기, 진공척, 음/양전극, 진공펌프, 전원공급장치 및 갭센서로 구성되어 있다.

전극은 회전공구부분에 슬립링(slip ring)을 사용하여 음의 전극으로 사용했고, 가공물을 칩킹하는 진공척을 양의 전극으로 결선하였다.

회전공구부는 절연체를 사용하여 절연시켰고, 사용한 공구전극은 직경이 각각 $\phi 1$, $\phi 2$, $\phi 5$, $\phi 20$ 인 스테인레스 전극을 사용했다.

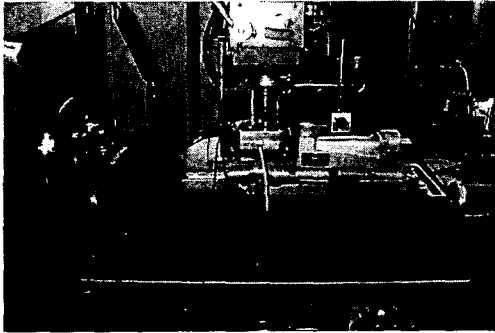


Fig.3 Experimental set-up

갭 센서는 전극과 가공면 사이의 간극을 조정할 수 있도록 0.02m resolution, 10mV/m 출력, 1mm 간극의 특성을 가지고 있는 와전류형 갭 센서를 사용했다.

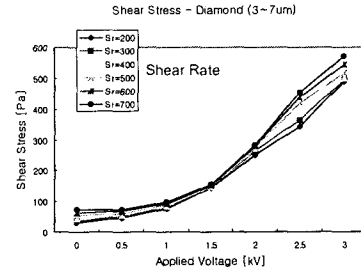
전원공급장치는 5kV, 100mA(DC 10mA)까지 가능한 내압시험기를 사용했다. 가공기는 최대 3000rpm까지 구동 가능한 밀링머신을 사용했고, 본 실험에서는 1500rpm 범위 내에서 평탄화 가공 실험을 수행했다.

4. ER유체 실험결과 및 분석

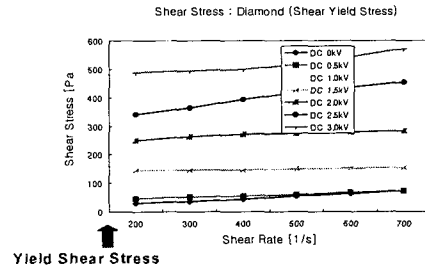
4.1 연마재에 따른 ER유체의 특성

ER유체에 연마재인 다이아몬드(입자 3~7 μm)와 그린카바이드(입자 6.7 μm)를 첨가한 후 인가되는 전기장의 크기에 따른 ER유체의 전단응력을 측정했다. 다음 Fig.4(a)는 다이아몬드 연마재가 첨가된 ER유체의 각각의 전단속도비에 따른 전단응력 특성을 나타낸 것으로, 인가되는 전압에 따라 급속히 증가함으로 알 수 있다. Fig.4(b)는 전단속도비에 따른 다이아몬드가 첨가된 ER유체의 항복전단응력을 측정된 것으로, 인가전압이 증가함에 따라 증가하고 있음을 알 수 있다. Fig.4(c)는 그린카바이드가 첨가된 ER유체의 전단응력특

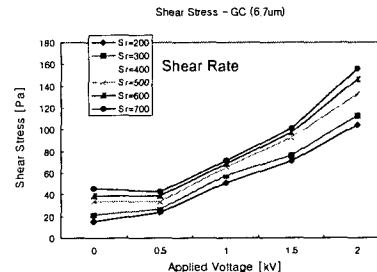
성을 나타낸 것으로, 다이아몬드가 첨가된 ER유체에 비해서 전단응력이 비교적 낮음을 알 수 있다.



(a) Shear Stress wrt. applied voltages for each shear rates: Diamond



(b) Yield Shear Stress wrt. Shear Rates for applied voltages: diamond



(c) Shear Stress wrt. applied voltages for each shear rates: GC

Fig.4. Characteristics of Shear stress

4.2 ER유체응용 연마 실험조건

ER유체응용 평탄화 연마실험은 기초실험단계로, ER유체와 GC연마재를 사용하여 연마실험의 특성을 분석하였다. 실험조건으로 다음 Table 1 과 Table 2와 같이 GC연마재(입도 11.5 μm)와 다이아몬드연마재(입도 3~7 μm)를 사용했으며, 가공물

과 공구전극의 간극은 70~150 μm 에서 실험을 수행했다. 이때, 공급전원은 2.5~4.5kV이고, 최대 전류는 최대 10mA 였다. 사용된 공구전극은 직경이 $\phi 20$ 인 stainless전극을 사용했다.

연마실험은 4inch 실리콘웨이퍼에 ER유체와 연마재를 혼합하여 공급한 후 공구전극과 가공물(실리콘웨이퍼) 사이의 간극을 각각의 조건에 따라 70~150 μm 로 유지시킨 상태에서 가공기의 스핀들을 1500 rpm으로 회전시키면서 연마실험을 수행했다. 향후, 입도가 3 μm 인 Optical emery와 5 μm , 9 μm 인 diamond 연마재를 사용하여 연마실험을 수행할 계획이다.

Table 1. Experimental conditions using GC

Items	Condition #1	Condition #2
Power	DC 2.5kV	DC 4.5kV
Current	0.1mA	0.44mA
Abrasive	GC 11.5 μm	GC 11.5 μm
Spindle Speed	1500rpm	1500rpm
Clearance	150 μm	100 μm
Polishing Time	10min	10min
Material	Si-wafer	Si-wafer
Recipe (Abr/ERF)	25%	25%

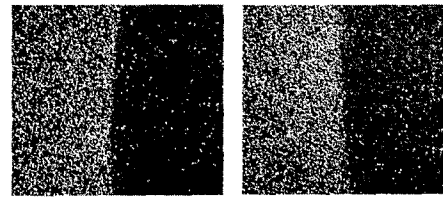
Table 2. Experimental conditions using diamond

Items	Condition #3	Condition #4	Condition #5
Power	DC 3kV	DC 3.5kV	DC 3.5kV
Current	10mA	10mA	10mA
Abrasive	Diamond	Diamond	Diamond
Spindle Speed	600rpm	600rpm	600rpm
Clearance	100 μm	70 μm	70 μm
Polishing Time	16min	30min	50min
Material	Si-wafer	Si-wafer	Si-wafer
Recipe (Abr/ERF)	15%	25%	25%

4.3 ER유체 실험 결과

각각의 실험조건을 이용하여 4inch 실리콘웨이퍼의 랩핑면에 대한 연마실험을 수행한 후 현미경으로 측정된 가공면은 Fig.4와 같다. Fig.4의 각각에서 왼쪽은 실리콘웨이퍼의 랩핑된 면이고, 오른쪽은 ER유체를 사용하여 가공된 면이다.

가공면의 특성을 분석하기 위해서 표면조도측정기를 사용하여 실리콘웨이퍼의 랩핑면과 ER가공면의 표면조도를 측정했다. Fig.5는 실리콘웨이퍼의 랩핑면에 대한 3차원 조도를 나타낸 것이다.



(a) condition #1 (b) condition #2

Fig.4 Polishing results under each polishing conditions

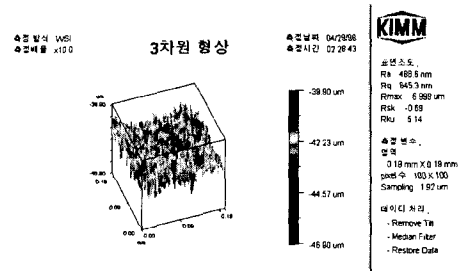
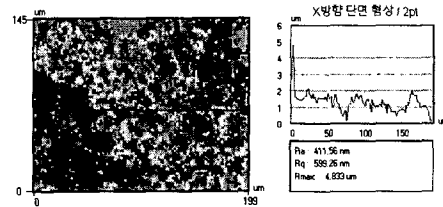
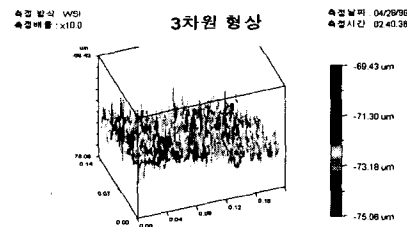


Fig.5 3-dimensional shape of the surface roughness for the lapped surface of wafer

Fig.6과 Fig.7은 각각의 연마조건에 의해서 연마된 가공면에서 측정된 표면조도에 대한 2차원, 3차원 형상을 측정된 것이다. Fig.8은 실험조건 5로 가공된 웨이퍼의 표면조도이다.

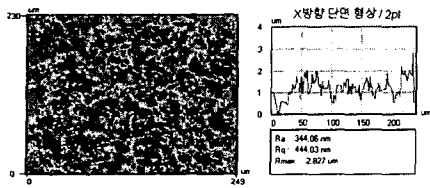


(a) 2-dimensional shape

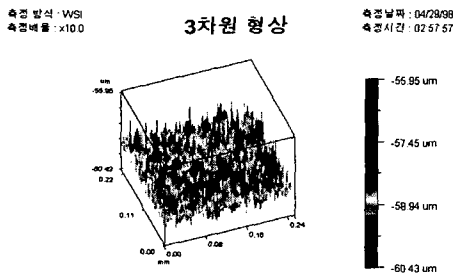


(b) 3-dimensional shape

Fig. 6 Shapes of the surface roughness for the lapped surface of wafer under polishing condition #1



(a) 2-dimensional shape



(b) 3-dimensional shape

Fig.7 Shapes of the surface roughness for the lapped surface

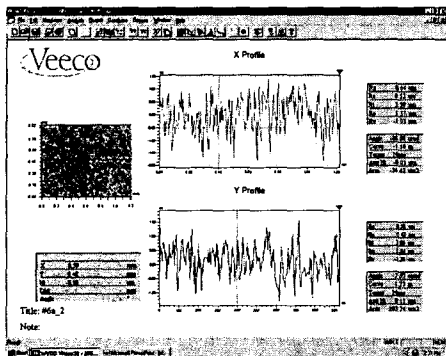


Fig.8 Measured surface roughness using Ex.#5

표면조도측정기로 측정된 랩핑면과 각각의 실험조건에 의해서 연마된 가공면에 대한 표면조도 측정결과는 아래의 Table 3과 같다.

Table 3. Polishing results for each condition

Items	Ra	Rq	Rmax
Bare Wafer	0.48 μ m	0.64 μ m	7.0 μ m
Condition #1	0.4 μ m	0.6 μ m	4.8 μ m
Condition #2	0.34 μ m	0.44 μ m	2.83 μ m
Condition #3	0.65 μ m	0.8 μ m	4.3 μ m
Condition #4	0.54 μ m	0.7 μ m	3.68 μ m
Condition #5	0.52 μ m	0.64 μ m	3.29 μ m

■ Ra : Roughness average ■ Rq : Roughness root mean square
 ■ Rmax : Roughness max

실험결과 동일한 연마재를 사용할 경우 인가되는 전기장의 세기에 따라 표면조도가 향상되었음을 알 수 있었다. 또한, ER유체를 사용하여 웨이퍼의 표면을 연마했을 때 표면조도 Rmax 2.8 μ m까지 연마함으로써 향후 미소부품 및 웨이퍼의 평탄화가공의 가능성을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 실리콘오일에 분산시킨 ER유체와 연마재로 green ceramic, optical emery 및 diamond를 사용하여 4inch 웨이퍼의 랩핑면에 대한 평탄화 가공실험을 수행했다.

이 실험에서 ER유체의 가공특성, 공급되는 전기장의 크기에 따른 연마특성 및 연마재의 특성에 따른 연마특성을 분석했다. 실험을 통해서 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) ER유체의 특성은 사용하는 연마재, 인가되는 전기장의 크기, 전극과 전극사이의 간극에 따라 영향을 받는다.
- 2) 연마입자의 크기에 영향을 받지 않고, 미소 연마가 가능하다.
- 3) 다양한 전극을 사용하여 광대역 실리콘웨이퍼 및 복잡한 형상부품에 대한 평탄화가 가능하다.

참고문헌

- [1] T. Kuriyagawa, et al, Development of ER Fluid Assisted Machining for 3-Dimensional Small parts, *J. of Society for Precision Engineering*, vol. 65, No.1, pp.145-149, 1999.
- [2] W.B.Kim, et al, Micro Polishing using ER Fluid, *Proceedings of Korean Society for Precision Engineering-2000 Fall*, vol. 1, pp. 850-853, 2000.
- [3] H.G.Lee, et al, Dynamic Properties for ER Fluids with Different Working Modes, *Proceedings of Korean Society for Mechanical Engineering-2000 Summer*, vol. 1, pp. 597-602, 2000.