

원뿔형 드럼을 이용한 화학기계적연마기의 개발 (Development of Chemical Mechanical Polishing Machine by Conical Drum)

서헌덕, 김형재, 이성훈(부산대 정밀기계대학원), 정해도(부산대)
H.D.Seo, H.J.Kim, S.H.Lee (Graduate School, Pusan Nat'l Univ.),
H.D.Jeong (Pusan Nat'l Univ.)

Abstract

A cone shape drum polisher was developed to make up for the demerits of conventional CMP apparatus. The developed equipment has several superiorities. First of all, it can achieve uniform velocity profile on all the contact line because of its shape and easy to control the amount of slurry at the position of use. The whole area of wafer surface is exposed to the visual area except the contact line between wafer and drum, hence we can detect polishing end point more easily than any other polishing equipments. Also it has additional merits such as small foot print and polishing load. Polishing characteristics were investigated by developed equipment.

keyword : chemical mechanical polishing (CMP, 화학기계적 연마), cone shape drum(원뿔형드럼), polishing characteristic (연마특성), line contact(선접촉)

1. 서론

화학기계적 연마(Chemical Mechanical Polishing)는 평탄화 방법 중 현재 가장 주목받고 있는 기술로서 이미 많은 반도체 업계에서 채택하고 있으며 여러 연마장비들이 개발되어있다. 그러나, 웨이퍼의 대구경화에 따라 기존의 연마 방식을 유지할 경우 슬러리 공급의 불균일, 장비의 대형화, 가공중점 검출의 어려움 등 여러 가지 문제점이 대두된다. 이러한 문제를 해결하고자 오비탈형 연마장비^(1,2), 벨트형 연마장비⁽³⁾, 드럼형 연마장비⁽⁴⁾가 개발되거나 개발 중에 있다.

본 연구에서는 원뿔형 드럼(cone shape drum) 장치를 이용하여 화학 기계적 연마에 적용가능성을 검토하고 또한 이 장비의 가공특성을 살펴보았다.

2. 원뿔형 드럼의 설계

2.1 개발의 배경

연마를 수행할 때 피가공물의 연마량은 일반적으로 프레스톤의 경험식을 따르는 것으로 알려져 있다.⁽⁵⁾

$$RR = Kpv \tag{1}$$

여기서 RR은 단위시간당 제거량이고 K는 가공조건에 따른 상수, p는 가공지점에서의 압력, v는 가공지점에서의 상대속도이다.

위의 식에서 알 수 있는 바와 같이 모든 지점에서 압력과 속도, 슬러리 공급 조건 등 다른 모든 조건이 동일하다고 가정하면 웨이퍼 전면에서의 제거량은 균일하게 되어 광역 평탄화를 얻을 수 있을 것이다. 그러나 이러한 상태를 Fig.1과 같은 일반적인 CMP장치에서 구현하는 데는 다음과 같은 난점이 있다.

그 이유로는 첫째, 기존의 슬러리 공급 방식에서는 웨이퍼 외주부분의 슬러리 공급량이 중심부

근보다 많아 공급되는 슬러리의 양을 웨이퍼 전
면에서 균일하게 제어하는 것이 매우 어렵다.⁽⁶⁾
둘째, 웨이퍼의 연마형상은 웨이퍼 전면에서의
압력분포 형상을 따르는 것으로 알려져 있는데⁽⁷⁾
종래의 중심 축하중 방식의 가압 방식을 이용하
면 웨이퍼 중심에서의 압력이 주변보다 높거나⁽⁸⁾
패드와 접촉을 시작하는 부분인 에지부근에서 압
력이 높아지게되며⁽⁷⁾ 연마후의 형상은 압력분포
프로파일과 유사한 형태를 가지게 된다. 즉 광역
평탄화를 얻기 힘들다. 셋째, 연마중에 패드는 반
경에 따라 웨이퍼와 접촉하는 시간이 다르기 때
문에 패드의 반경에 따라 온도분포가 달라지는
것도 불균일한 연마율을 초래하게 된다.⁽⁹⁾ 넷째,
연마시 가공량을 확인하고 가공중점을 검출하는
것은 매우 중요한 작업이나 현재의 일반적인
CMP 장치에서는 가공 중 웨이퍼의 전면이 패드
와 접촉하고 있으므로 가공중점을 검출하기가 매
우 어려우며 이 문제는 앞에서 기술한 문제점들
보다 더욱 해결하기 힘든 과제중의 하나이다.

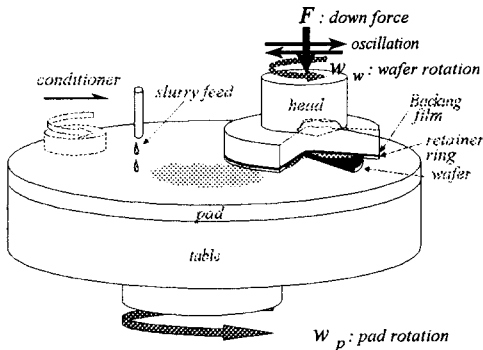


Fig.1 Concept of Conventional CMP

따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 웨
이퍼 면과 가공공구가 선접촉을 하면서 가공이
진행될수 있도록 하여 접촉부 이외의 웨이퍼 표
면이 바깥으로 노출되게 하는 원통형 롤러를 이
용한 선접촉형CMP장비의 개발이 진행되고 있으
나⁽⁴⁾ 이러한 방식으로 가공을 진행하게 되면 웨
이퍼의 반경에 따른 속도의 차이에 의해 웨이퍼
연마율이 반경에 따라 달라지는 문제점이 있다.

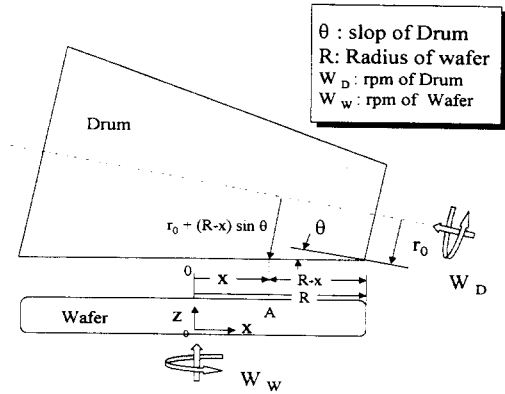


Fig.2 Model of cone shape Drum

따라서 본 연구에서는 연마중 웨이퍼와 선접
촉 상태에서 가공을 진행하면서 접촉부에서 웨이
퍼와 연마패드 사이의 가공속도를 균일하게 하기
위하여 Fig.2와 같은 원뿔형 드럼을 이용한 CMP
장치를 고안하여 제작하였다. 웨이퍼의 단위 시
간당 연마율은 각 지점의 상대속도 v 에 의존한다
고 할 수 있으며 총 연마량은 이 속도의 시간적
분형태인 전체 가공시간 동안의 상대 접촉거리에
의존한다. 따라서 웨이퍼 전면에 걸쳐 상대속도
를 균일하게 한 상태에서 일정시간을 가공하거나
웨이퍼의 모든 지점에 대해 총 상대 접촉 거리를
같게 해주어야 균일한 연마율을 얻을 수 있다.

2.2 상대속도 해석

웨이퍼상의 한 점 A에서 속도 v_w 와 드럼상의
점 A에서의 속도 v_D 는 다음과 같이 표시된다.

$$v_w = w_w \times x \quad (2.a)$$

$$v_D = w_D \times R_A \quad (2.b)$$

여기서 w_w , w_D 는 각각 웨이퍼의 각속도와
드럼의 각속도, x 는 웨이퍼 중심에서 A점까지의
거리, R_A 는 드럼의 중심에서 A까지의 거리이
다. 또한 기하학적 관계에 의하여

$$R_A = r_0 + (R - x) \sin \theta \quad (3)$$

따라서 웨이퍼와 패드의 접촉지점에서 상대속도는 다음과 같이 표시된다.

$$\mathbf{V} = \mathbf{V}_w - \mathbf{V}_D \\ = [w_D(r_0 + R\sin\theta) + x(w_w - w_D\sin\theta)]\mathbf{j} \quad (4)$$

식 (4)에서 살펴보면 우변의 첫 번째 항은 항상 상수이며 웨이퍼 반경에 따른 속도변화를 유발하지 않으나 두 번째 항은 웨이퍼 반경에 따른 속도변화의 원인이 된다. 따라서 이 항을 없애기 위해 웨이퍼와 드럼의 회전수비를 아래와 같이 한다.

$$\frac{w_w}{w_D} = \sin\theta \quad (5)$$

식 (5)에 의해 드럼과 웨이퍼의 회전수 비가 결정이 되며 이 식을 기초로 하여 드럼을 제작하였다.

3. 실험장치

실험장치의 구성은 범용선반에 드럼형의 연마공구를 부착한 형태이다. 웨이퍼가 부착되는 헤드부분은 선반의 척을 이용하여 6인치 웨이퍼용 세라믹 진공척을 Fig.3과 같이 장착하였다.

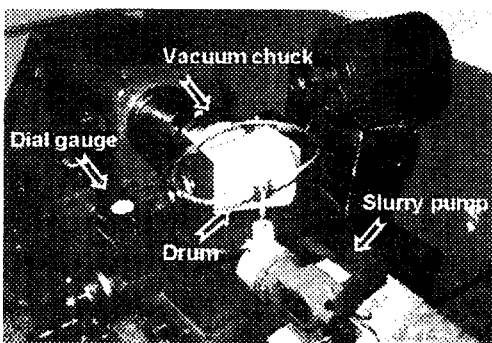


Fig.3 Experimental setup for Drum CMP

세라믹 척은 Kyosera(日)에서 생산하는 상업용 진공척을 사용하였으며 진공펌프와 연결되도록 하여 웨이퍼가 가공중 미끄럼이 일어나거나 탈락되는 것을 방지할 수 있도록 하였다. 연마공구인 드럼에는 폴리우레탄 패드가 부착된다. 드럼의

빗면부분이 진공척면에 접촉하도록 장착하여 웨이퍼와 상대운동을 하게 되며 또한 드럼이 좌우 요동운동을 할 수 있다. 또한 웨이퍼와의 드럼사이의 거리를 조정할 수 있도록 다이알 게이지를 설치한 구조를 가진다. 슬러리 공급장치는 정량 토출 펌프를 이용하여 공급유량을 조절하고 연마부에서 슬러리 공급위치를 조절할 수 있도록 7개의 슬러리 토출구를 웨이퍼 반경방향으로 배치하였다.

4. 실험 및 결과고찰

원뿔형 드럼 CMP장치를 이용하여 Table 1과 같은 조건하에서 실험을 수행하였다.

Table 1 Experimental condition

Pad	IC1000/SUBA IV
Slurry	Nalco 2371, 100ml/min
Wafer	6" Bare Silicon Wafer
rpm	Drum:893, Wafer:155
Relative speed	382m/min
Oscillation	10mm
Polishing time	10min

가공중 패드와 웨이퍼의 접촉상태를 결정하기 위하여 시험용 웨이퍼를 이용하여 웨이퍼를 정지시킨 상태에서 2분동안 연마를 행하여 웨이퍼 표면에 나타나는 연마흔적을 통하여 패드와 웨이퍼의 접촉상태를 평가하였다. 웨이퍼와 패드가 접촉-준접촉-비접촉으로 바뀌는 거리는 약 $10\mu\text{m}$ 이내의 범위로서 접촉을 시작하는 지점에 다이알 게이지의 원점을 설정하고 이 지점을 상대거리 0으로 기준 하였다. 이 상태에서 정절입 방식으로 가공을 진행하였으며 가공중 슬러리는 웨이퍼의 반경방향 2cm 간격으로 100ml/min를 공급하였다. Fig.4에서 볼 수 있는바와 같이 패드가 웨이퍼에 밀착될수록 즉 웨이퍼와 패드사이의 거리인 상대거리가 줄어들수록 연마율이 선형적으로 증가하고 표면조도가 양호해지는 것을 알 수 있다.

가공 후 표면조도의 개선을 위하여 드럼에 요동운동을 부여하였다. 그 결과 Fig.5와 같이 웨이퍼의 평탄도는 드럼의 요동이 없을 때보다 상당히 개선됨을 알 수 있다

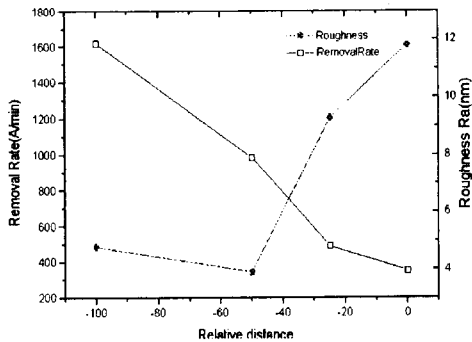


Fig.4 Removal Rate and Surface Roughness after CMP

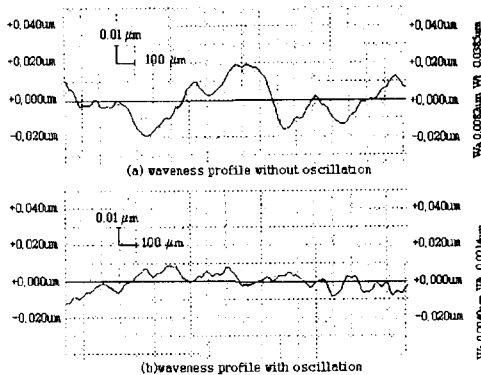


Fig.5 Profiles of waviness with/without oscillation

이러한 결과는 드럼공구의 요동이 없을 경우 패드표면의 미소한 돌기들이 웨이퍼의 일정한 반경지점을 계속해서 지나기 때문에 생기는 것으로 생각된다. 따라서 가공 후 양호한 표면을 얻기 위해 드럼을 요동운동 시키는 것이 좋다.

또한 가공 후 웨이퍼의 형상은 Fig.6과 같이 웨이퍼의 중심에서 최대 12 μm 정도의 깊은 골을 형성함을 알 수 있으며 구성된 장비로서는 골의 형성을 방지하기가 매우 곤란함을 알았다.

이 현상은 드럼의 패드면이 웨이퍼와 접촉할 때 패드가 탄성 변형하여 실제로는 선접촉 상태가 아니라 일정한 접촉넓이를 가지는 면접촉 상태가 된다. 이에 따라 웨이퍼의 중심부근의 일정한 반경 내에서는 연마 중 항상 패드와 접촉한 상태로 가공이 진행되며 다른 부분 보다 가공이 더 많이 진행되는 것임을 알 수 있다. 예비실

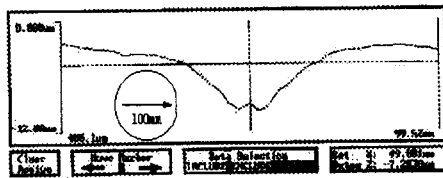


Fig.6 Profile around the center of wafer

험의 결과 압축율이 큰 Suba IV 패드는 접촉폭이 최대 8mm에서 5.8mm 정도이고, 압축률이 낮은 IC1000의 경우 최대 3.8mm에서 2.3mm 정도로서 압축율이 낮은 패드일수록 접촉폭이 줄어들며 중심부가 깊게 패이는 현상도 개선할 수 있었다.

이 장비를 이용하여 가공한 웨이퍼의 표면은 아래의 Fig.7과 같이 양호한 경면을 얻을 수 있었다.

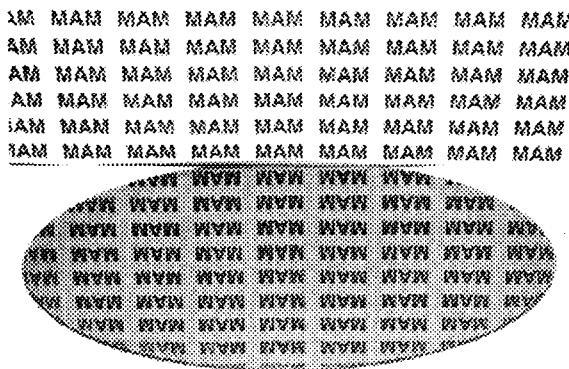


Fig.7 Photograph of polished wafer

5. 결론 및 향후 연구방향

원뿔형 드럼을 이용하여 가공지점에 직접 슬러리를 공급한 상태에서 6인치 실리콘웨이퍼의 연마를 수행하였다. 드럼공구를 웨이퍼 회전방향과 수직인 방향으로 요동운동 시킬 때 요동이 없는 경우에 비해 평탄도가 개선됨을 알 수 있다. 또한 패드와 웨이퍼의 접촉면적이 증대함에 따라 연마율과 표면조도는 향상되나 가공 후 형상이 웨이퍼의 중심부에서 깊은 골을 형성하는 현상은 피할 수 없었다.

위와 같은 문제점을 보완하기 위하여 드럼의

폭을 줄이고 반경에 따른 가공시간의 제어를 통한 실험을 계속 수행할 예정이다.

6.참고문헌

1. H.D.Joeng et al., "Integrated Planarization Technique with Consistency in Abrasive Machining for Advanced Semiconductor Chip Fabrication" Annals of CIRP vol.45, p311 1996
2. M. Berman, "Review of Oxide Polishing Results on an Orbital Platform" IPEC-Planar PACRIM Chemical Mechanical Planarization Symposium, p137 1997.
3. T. Mallon, "Performance of Linear Planarization Technology" The 3rd International CMP Symposium, pp286-290, 1997.
4. 山崎努, 土肥ら, "新しいドラム式ポリ싱ク装置の開発" 1998年度砥粒加工學會學術講演會講演論文集, A5, 1998.
5. F. Preston, J. Soc. Glass Tech. Vol.11, p115, 1927.
6. J.Coppeta et al, "Characterizing Slurry Flow During CMP Using Laser Induced Fluorescence" Proceedings of CMP-MIC pp307-314. 1997.
7. 渡邊ら, "表面基準ポリ싱クにおけるパッド" 1997年度精密工學會春季, p183, 1997.
8. D.Wang et al "Von Mises Stress in Chemical-Mechanical Polishing Process" J. of electrochemical society, vol.144 No.4 pp1121-1127, 1997.
9. L.H.Chen et al, Pad Thermal Image Endpointing for CMP Process" Proceedings of CMP-MIC. pp28-35. 1998.