Air-Bag Head 가압식 300mm 웨이퍼 폴리싱 테이블의 가압 분포 해석

노승국*

(Manuscript received: Sep, 9, 2012 / Revised: Dec, 31, 2012 / Accepted: Jan, 10, 2013)

Analysis of Contact Pressure for a 300mm Wafer Polishing Table with Air-Bag Head

Seung-Kook Ro*

Abstract

In this paper, the contact pressure of the wafer and polishing pad for final polishing process for 300 mm-wafer were investigated through numerical analysis using FEM tool, ANSYS. The distribution of the contact pressure is one of main parameters which affects on the flatness and surface roughness of polished wafers. Two types of polishing head, a hard type head with ceramic disk and a soft type head with air bag were considered. The effects of the deformation and initial shape of table on the contact pressure were also examined. Both heads and tables were modeled as 3D finite element model from solid model, and the material properties of polishing pads and rubber plate for the air-bag head were obtained from tensile tests. The contact pressure deviation on wafer surface was smaller with air bag head than hard type head even when the table had form errors such as convex or concave. From this 3D analysis, it could be concluded that the air-bag head has better uniformity of the contact pressure on wafer. Also, the effects of inner diameter of air bag and radial clearance between wafer and retainer were investigated as view point of contact pressure concentration on the edge of wafer.

Key Words : Wafer final polishing machine(웨이퍼 최종연마 장비), Contact pressure(접촉압력), FEM(유한요소 해석), Air-bag head (공기가압 에어백 헤드)

1. 서론

최근의 반도체 산업은 생산성 향상을 위한 실리콘 웨이퍼의 대구경화에 의하여 300mm(12 인치) 웨이퍼를 이용한 공정이 빠르게 확산되어 가고 있으며, 근 시일내에 450mm 공정이 도입될 것으로 예측되고 있으며, 이를 위한 전, 후 공정관련 장비 기술개발이 절실히 요구되고 있다. 특히 실리콘 웨이퍼 생산에 있어서, 공정의 효율화를 위하여 기존의 여러 단계를 연삭과

양면연삭, 최종 단면 폴리싱으로 단순화하여 적용하고 있다.

이 중 최종 웨이퍼 폴리싱 장치는 웨이퍼의 평탄도 및 두께균일도와 표면조도를 극대화하는 최종 전공정 장비로, 회전하는 테이블과 패드, 그리고 역시 회전하는 헤드 디스크로 구성되며, 이러한 폴리싱 가공에 있어서 웨이퍼의 최종 품위는 연마 패드와 웨이퍼의 상대 속도와 압력 분포, 슬러리의 유량 및 종류 등의 기계 및 화학적인 조건들에 영향을 받게 된다. 기계적인 조건에서 보았을 때, 웨이퍼 표면에서의 압력분포의 균일성이

* 한국기계연구원 초정밀시스템연구실
주소: 305-343 대전시 유성구 장동 171

✉ Corresponding Author E-mail: cniz@kimm.re.kr

매우 중요한데, 이는 웨이퍼의 압력 분포는 마찰력과 직접적인 관계를 갖게 되며, 이러한 압력의 균일분포가 이루어지지 않는 경우, 연마된 웨이퍼 면의 형상 균일도에 악영향을 미칠 수 있기 때문이다. 따라서 이러한 압력분포가 균일하게 가해질 수 있는 구조가 웨이퍼 폴리싱 장비에서 갖는 중요성은 매우 크다고 할 수 있다⁽¹⁻⁴⁾.

이러한 균일압력의 작용을 위하여 적용되고 있는 방법은 크게 두 가지의 상반된 구조가 있다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 알루미늄이나 세라믹과 같은 고강성의 재료를 초정밀 가공한 헤드 디스크와 킬링 모션을 자유롭게 할 수 있는 자동 조심형 베어링 등을 이용하는 방법과, 이와는 반대로 유연한 재료를 이용하여 공기의 직접 가압을 이용한 유연 헤드 방법이다. 장비 제조사에 따라 두 가지 방법을 나누어서 적용하고 있는 실정이며, 현재는

(a) hard type head with ceramic disk

(b) soft type head with air-bag

Fig. 1 Polishing head and tables for wafer polishing system

웨이퍼의 크기가 대형화가 진행 될수록 전자의 하드 타입의 헤드 보다는 후자의 공기 가압형 에어백(Air-Bag) 헤드를 포함한 유연 헤드 구조가 많이 적용되고 있다⁽⁵⁻⁶⁾.

이러한 폴리싱 공정에 있어서 공작물인 웨이퍼에서의 가압에 의한 압력분포를 직접 측정하여 평가하는 것은 실제적으로 용이하지 않은데, 이는 압력분포를 정밀하게 측정할 수 있는 방법이 적당하지 않으며, 대안으로 사용되는 압력 감지 필름의 측정 정밀도가 높지 않기 때문이다. 따라서 실험 대신에 구조물의 유한요소 해석 등의 방법을 통하여, 웨이퍼 면에서의 압력 분포를 해석하여 균일 압력 분포를 해석할 필요가 있으며, 이러한 데이터는 시스템의 설계 및 공정 설계에 있어서 참고 자료로 적용될 수 있다.

본 연구에서는 웨이퍼 파이널 폴리싱 머신에서의 세라믹 기반 하드타입 헤드와 유연구조를 이용한 에어백 헤드의 압력 분포 해석을 수행하였으며, 이를 위하여, 연마 테이블과 연마 헤드, 연마 패드 및 템플릿, 웨이퍼 등으로 이루어진 유한요소 모델을 구축하고, 접촉부의 접촉 압력 및 가압에 의한 변형 등을 해석하였다. 본 연구에서는 두 가지 관점에서 해석을 수행하는데, 세라믹 및 에어백 헤드의 압력 및 변위균일도를 해석적으로 비교하는 것과 (2, 3장) 에어백 헤드의 내부 가압면적 및 리테이너와의 간극에 따른 웨이퍼 가장자리의 압력 분포(4장)이다.

2, 3장의 해석에서는 3차원 모델을 이용하여 하부 테이블의 평면 형상이 가압력에 의하여 생기는 변형과, 가공 오차 등에 의한 형상오차가 존재하는 경우에 대해서도 고려하였으며, 이때의 압력 분포의 변화를 해석하였다. 해석 결과, 에어백 헤드를 적용한 유연 구조의 경우 압력 분포의 균일도가 크게 우수하였으며, 테이블의 미세한 형상변화에 있어서도 균일성을 유지할 수 있는 것으로 확인되어, 대형 웨이퍼 연마 장비에 있어서, 에어백 헤드 구조의 우수성을 확인할 수 있었다.

4장에서 나타난 에어백 헤드 설계변경에 따른 웨이퍼 가장자리 부분의 압력 및 변위 해석은 2차원 유한요소 모델로 요소 크기를 작게 하여 상세한 결과를 도출하고자 하였으며, 적절한 가압 면적의 필요성과 리테이너와의 간극최소화가 유리함을 해석적으로 확인할 수 있었다.

2. 3차원 해석 모델 및 조건

2.1 하드타입 헤드 해석 모델

Fig. 2는 하드타입의 헤드 및 폴리싱 테이블의 구조를 3차원 유한요소 해석을 위해 모델링한 그림을 나타내고 있다. 헤드 및 폴리싱 테이블의 재질은 알루미늄이나 세라믹으로 이루어져 있으며, 해석을 위한 모델에서는 테이블의 구동을 위한 스핀들의 베어링 및 스핀들 하우징 부분, 헤드 구동부 등은 제외하였는데, 이러한 부분들은 실제 접촉부위에서의 상대 변위에 크게

Fig. 2 Analysis model for hard type head(ANSYS)

영향을 미치지 않으며, 헤드의 경우 자동조심 베어링 등에 의하여 전체적인 틸팅의 영향은 없기 때문이다.

해석 도구는 ANSYS를 사용하였으며, 솔리드 모델을 이용하여 모든 구조물은 SOLID 92 요소를 적용하였다. 폴리싱 패드의 경우 패드의 인장시험을 통하여 얻은 물성치를 해석에 적용하였으며, 웨이퍼를 점착하는 템플리트의 경우도 인장시험을 통한 탄성계수를 적용하였다. 또한 접촉면에서의 접촉 압력을 확인하기 위하여, 웨이퍼면과 연마패드의 접촉면에 접촉요소 (CONTACT 170 및 CONTACT 174)를 적용하였다.

2.2 에어백 헤드 해석 모델

다음의 Fig. 3은 공기 가압 에어백 (Air-bag) 헤드의 가압 방식을 나타내고 있다. 하부의 전체 헤드 부분을 가압해주는 압력 P_1 과 웨이퍼에 작용하는 압력 P_2 를 나타내고 있으며, 이때 웨이퍼 및 리테이너에 작용하는 압력은 (1)~(3)과 같은 관계를 가지고 있다. 즉, 가압 되는 압력은 두 군데로 나누어져서, 웨이퍼의 공기가압을 위하여 고무와 같은 유연재질로 되어있는 막에 압력(P_2)를 가하게 되며, 전체 헤드에 대해서는 상부의 압력 P_1 을 가하게 되는 구조이다. 최종적으로 웨이퍼에 작용되는 압력은 웨이퍼부 가압력 (P_2)와 비슷해지며, 리테이너에 작용되는 압력은 P_1 에 의한 반력이 제외된 압력이 가해지게 된다.

$$F_1 = P_1 A_1 = P_{\text{retainer}} A_{\text{retainer}} + P_{\text{wafer}} A_{\text{wafer}} \quad (1)$$

$$P_2 A_2 = P_{\text{wafer}} A_{\text{wafer}} \quad (2)$$

$$P_{\text{retainer}} A_{\text{retainer}} = P_1 A_1 - P_2 A_2 \quad (3)$$

Fig. 4는 본 논문에서 적용하고 있는 에어백 헤드를 이용한 모델의 3차원 유한요소 모델을 나타내고 있다. 해석의 용이성을 위하여 1/4 모델을 적용하였으며, 헤드 유닛의 상부의 변위를 고정하고, 공기 가압 부의 압력이 작용하는 조건으로 해석을 수행하였다. 세라믹 헤드를 적용한 경우와 테이블 및 패드의 구성 및 물성은 동일하며, 역시 가압패드의 상부면과 웨이퍼면,

Fig. 3 Pressure acting on the air bag type head

Fig. 4 Analysis model for contact pressure of wafer polishing system using soft type head(ANSYS)

Table 1 Material properties for analysis

Part	Material	Density (kg/m ³)	Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ratio
Shaft	Stainless Steel	8,030	193	0.3
Hard head	Alumina	3,906	370	0.22
SUS plate	SUS plate	4,000	50	0.3
Wafer	Silicon	3,980	98.7	0.28
Retainer	Epoxy Glass	1,450	31.7	0.28
Template Back	Measured	400	2.327	0.28
Polish Pad	Measured	370	0.248	0.28
Air bag	Rubber	370	0.009	0.46
Air head	Al5052	2,680	70.3	0.33

리테이너면 사이에 접촉 요소를 적용하여 압력 및 변위 분포를 계산하였다.

해석에 사용된 물성치는 다음의 Table 1과 같다. 폴리싱 패드와 Air bag에 적용된 고무재질의 경우 인장실험을 통하여 얻어진 값을 적용하였으며, 변형이 크지 않을 것을 감안하여 선형 재료 특성으로 적용하였다.

2.3 테이블 형상에 따른 해석 조건

테이블의 가공오차 및 열변형 등을 고려하기 위하여 테이블의 형상에 대하여 세 가지의 경우를 적용하였다. 완벽한 평면인 경우(Case I), 약간 볼록(Case II) 혹은 오목한 형상오차를 갖는 경우(Case III)에 대하여 웨이퍼의 접촉압력의 변화를 해석하였다. 이러한 조건은 모델링 및 해석 결과 도시의 용이성을 위하여 초기 테이블의 형상오차를 만들기 위한 균일분포하중을 테이블 면에 적용시키는 방법을 적용하였다. 즉, 0.2MPa의 균일 하중을 발생시키는 경우 약 13 μ m의 형상오차를 볼록(Case II, 0.2MPa) 혹은 오목(Case III, -0.2MPa)로 만들 수 있었다.(Fig. 5) 테이블의 변형조건은 두 가지 헤드 모델에 대하여 동일하게 적용되었다.

3. 3차원 해석 결과

3.1 하드타입 헤드 압력 분포

헤드의 가압에 의한 압력은 헤드 디스크와 헤드유닛 사이의 완충 유체에 의하여 균일가압이 일어난다는 가정 하에, 가압면에 균일한 압력을 30kPa를 작용시켰다. 다음의 Fig. 6은 2.3

질의 테이블 형상의 3가지 경우에 대한 웨이퍼면의 접촉압력 분포 해석 결과를 나타내고 있다. Fig. 7은 웨이퍼 중앙선상에서의 접촉 압력을 그래프로 나타내고 있으며 웨이퍼가 위치하고 있는 중심에서 40~330mm사이에 접촉압력이 존재하고 있다. 또한 Fig. 8은 이때의 패드 상면의 변위를 나타내며, 테이블

Fig. 7 Contact pressure on center line of wafer surface with hard head(30kPa)

Fig. 5 Vertical displacement of table with distributed pressure acting on table surface

Fig. 8 Vertical displacements of center line of pad surface with hard polishing head(30kPa)

Fig. 6 Contact pressure distribution on wafer surface with hard head(30kPa)

Fig. 9 Contact pressure of wafer and retainer with air-bag head($P_1=20$ kPa, $P_2=12$ kPa)

의 형상과 웨이퍼 및 리테이너의 압력에 의한 패드의 변형이 결합된 형상이 나타나고 있다.

테이블의 형상오차가 없는 경우(Case I), 평균 압력은 약 14.4kPa이며, 이때의 압력 편차는 4kPa 정도로 약 28%의 편차를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이러한 압력편차는 가압에 의한 하부 테이블의 변형(약 0.5 μ m, Fig. 8)이 원인으로 판단된다. 즉 테이블 중앙부에서의 면 부분이 접촉압력이 약간 작게 나타나고 있는 특성을 보이고 있다.

실제 폴리싱 과정에서는 웨이퍼와 테이블 사이의 회전 및 왕복이 일어남에 따라 웨이퍼면에 대해서는 접촉압력의 변동이 일어나므로, 전체 가공시간에서는 평균화된 효과가 나타날 것으로 예측되지만, 근본적으로는 압력의 편차를 최소화하는 것이 바람직하다 할 수 있다.

형상오차가 있는 경우의 해석결과와 비교해보면 볼록한 형상을 가지고 있는 Case II 및 Case III의 두 가지 경우 모두 접촉압력의 차이는 오히려 증가된 것을 알 수 있다. 즉, 볼록한 형상을 가지고 있는 경우에는 압력 편차의 값이 약 16kPa로 나타나며, 웨이퍼의 가운데 부분에서의 압력 집중현상이 두드러진다. 따라서 이 상태의 가공시 웨이퍼 중앙 부위의 연마량이 상대적으로 커질 것을 예측할 수 있으며, 반대로 테이블이 오목한 형상오차를 가지고 있는 경우에는 웨이퍼의 외각면의 접촉압력이 상대적으로 커져 외부의 가공량이 커질 수 있다. 즉, 웨이퍼 접촉의 압력편차를 최소화하기 위해서는 가압시의 테이블 면이 수평을 유지할 수 있도록 하는 것이 바람직하다고 할 수 있으며, 약간의 오목한 형상이 도움이 될 수 있다고 볼 수 있다.

3.2 공기 가압 유연 헤드 구조의 압력 분포 해석

Fig. 9는 공기가압 헤드에 대하여 $P_1=20$ kPa, $P_2=12$ kPa의 압력이 작용하는 경우의 웨이퍼 및 리테이너 부위의 접촉압력을 나타내고 있으며, 여기서 웨이퍼 접촉 압력은 P_2 와 비슷하게 분포하고 있으며, 리테이너 부분의 압력은 약 5kPa정도로 나타났다. 또한 Fig. 10의 웨이퍼면의 압력 값을 통해서도 웨이퍼

Fig. 10 Contact pressure on center line of wafer surface with air-bag head($P_1=20$ kPa, $P_2=12$ kPa)

Fig. 11 Displacement of pad surface for air-bag head($P_1=20$ kPa, $P_2=12$ kPa)

부분에 작용하는 압력의 편차가 없는 것을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 11에서 각각 볼록 (Case II) 및 오목한 형상(Case

III)의 형상오차를 가진 테이블에 대한 가압시, 패드의 눌리는 양은 테이블의 형상오차에 따라 다르게 나타나고 있으며, 세라믹 헤드를 이용한 경우와 비슷한 양상을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 다만, 하드타입과는 달리 리테이너 부분의 변형이 상대적으로 작아서 20mm 및 350mm 부근에서 2단의 변형 형태가 나타나고 있다. 그러나, 웨이퍼 표면의 접촉압력은 완전한 평면인 경우에 비하여 큰 차이를 보이지 않고 있음을 알 수 있다.(Fig. 10) 여기서, 공기가압헤드의 압력 평균화 효과는 테이블의 미소한 형상오차에도 크게 영향을 받지 않아, 세라믹 헤드에 비하여 매우 우수한 압력 균일도를 갖게 됨을 확인할 수 있다.

이러한 결과는 대형 웨이퍼에 대해서 에어백(Air-bag) 폴리싱 헤드를 적용하는 것이 압력 균일도에 있어서 크게 유리한데 대한 근거로 볼 수 있다. 단지 Fig. 10에서 볼 수 있듯이 웨이퍼 내부에서의 균일도는 크게 의심이 가지 않으나, 가장자리와 같은 부분의 접촉 압력은 더 세밀한 해석을 통해 확인할 필요가 있음을 알 수 있다.

4. 에어백 헤드의 2차원 상세 해석

4.1 2차원 해석모델 및 조건

3.2절의 결과에서 보면 웨이퍼 접촉부 가장자리에서 약간의 압력 상승이 나타나는 것을 알 수 있다. 실제 파이널 폴리싱 공정에 있어서 표면조도가 가장 중요한 성능변수이지만, 웨이퍼 가장자리 부분에서의 두께 편차의 중요도가 증가하고 있다. 이는 웨이퍼 가장자리의 두께편차가 작을수록 사용 가능한 면적이 증가하여 최종 반도체 생산성을 향상시킬 수 있기 때문이다⁽⁷⁻⁹⁾. 따라서 웨이퍼 가장자리 압력을 최대한 정밀하게 확인할 수 있도록 2차원 모델을 구성하여 해석하였다. 앞의 3차원 해석에서 에어백 헤드의 경우 테이블의 형상이 전체적인 압력 편차에 미치는 영향이 작으므로, 2차원 해석을 수행해도 전체적인 결과에 문제는 없다고 판단하였다. 다음의 그림은 해석을 위한 모델을 나타내고 있다. 2차원 축대칭(Axi-symmetric) 조건을 적용하였으며, 접촉부에 대해서는 접촉 요소를 사용하여

Fig. 12 2-D FE model and boundary conditions for 2D analysis

다. 본 연구의 해석조건으로는 가압면적 반경(D)의 변화와, 리테이너와 웨이퍼 사이의 간격(h)이 달라질 경우를 적용하였다.

4.2 가압 면적 변화에 따른 영향 해석

가압면적이 변하는 경우에 대한 웨이퍼 가장자리 및 리테이너 부에서의 접촉압력을 해석한 결과는 Fig. 13과 같다. 웨이퍼 가장자리에서 접촉압력의 피크값이 나타나고 있는데, 이는 모서리 부분에서 나타나는 접촉압력으로 이러한 피크 값보다는 모서리 부근에서의 압력 분포가 중요하다고 할 수 있다.

해석결과를 살펴보면 D값이 305mm 이상인 경우에는 가장자리에서 3~4mm 떨어진 지점에서부터 접촉압력이 증가하고 있음을 알 수 있으며, 반대로 300mm 이하인 경우에는 가장자리로 갈수록 접촉압력이 작아짐을 알 수 있다. 따라서, 가압부의 직경은 300mm 보다는 큰 것이 유리하며, 303~5mm 정도가 최적임을 알 수 있다.

이는 Fig. 14에 나타난 폴리싱 패드 부의 변형에서도 확인할 수 있다. 즉, 가압면적이 웨이퍼 면적 보다 크게 되는 경우는 웨이퍼 가장자리 부분이 많이 눌리게 되어 접촉면적이 증가하

Fig. 13 Contact pressure on the edge of wafer with various diameter of air bag, D

Fig. 14 Displacement of pad surface with various diameter of air bag, D

게 되는 현상을 나타낸다. 따라서 가장 최적의 경우는 웨이퍼의 변형이 가장자리까지 일정한 경우가 될 것이며, 300~305mm 사이임을 알 수 있다.

4.3 웨이퍼-리테이너 간극 변화에 따른 영향 해석

Fig. 15와 Fig. 16은 각각 웨이퍼와 리테이너와의 간극 h 의 변화에 따른 접촉압력과 패드의 변형량을 나타내고 있다. 리테이너와 웨이퍼의 간극을 없게 하기 위해서는 리테이너의 내경과 웨이퍼 외경과의 차이를 최소화 하는 것이 바람직하나, 이는 실제 자동화를 위해서 오차 없이 웨이퍼를 척에 장착한다는 것이 불가능하므로, 반경방향으로 1mm 정도의 여유가 불가피하다. 따라서 이러한 간극은 웨이퍼의 위치에 따라 2mm까지 간극이 발생할 수 있다.

Fig. 15의 결과를 살펴보면 간극이 커질수록 가장자리의 접촉 압력 및 피크 압력이 커지고 있음을 알 수 있다. 이 경우는 앞의 4.2절에서 가압 면적이 커지는 경우와 비슷한 경향을 나타내는 것으로 볼 수 있다. 만약 웨이퍼와 리테이너와의 간극이 임의로 0~2mm로 변한다고 할 경우, 앞의 결과와 결합하여 생

Fig. 15 Contact pressure with different radial clearance between wafer and retainer of air-bag head.

Fig. 16 Vertical deformation on pad surface with different radial clearance between wafer and retainer of air-bag head

각하여 보았을 때, 가압면적은 305mm가 만족할 만 하다고 할 수 있으며, 305mm 이상은 바람직하지 않다고 할 수 있다. 또한 가압면적의 직경이 300mm 이하인 경우는 더욱 바람직하지 않다고 할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 12인치 웨이퍼의 최종 연마를 위한 파이널 폴리싱 장치의 가압 헤드에 따른 압력 분포 및 변위를 유한요소법을 이용하여 해석하였다. 3차원 솔리드 모델을 이용하여 유한요소 모델을 구축하고, 접촉부 면에 접촉요소를 적용하여 압력 분포를 계산하였다. 세라믹 재질을 이용한 하드타입의 헤드구조와 유연재질을 이용하고 공기압을 직접 가압하는 헤드 구조에 대하여 가압시의 압력 분포를 해석하였으며 3차원 및 2차원 해석을 수행하였다.

해석결과에서 세라믹으로 이루어진 하드 타입의 경우에는 테이블의 변형에 의하여 압력편차가 25%이상 발생할 수 있음을 확인하였으며, 공기가압형 유연구조에서는 테이블의 변형을 고려하여도 압력편차가 거의 발생하지 않아, 웨이퍼 내부의 압력 균일도는 에어백 헤드가 매우 유리함을 알 수 있었다.

에어백 헤드에 대한 2차원 해석을 통하여 웨이퍼 가장자리의 접촉압력 집중을 최소화 하기 위해서는 가압 면적의 직경을 300~305mm 수준을 유지하는 것이 바람직하며, 웨이퍼와 리테이너와의 반경방향 간극을 최소화 할수록 웨이퍼 가장자리의 압력 집중은 작아지는 경향을 확인하였다.

References

- (1) Doi, T., Kasai, T., and Nakagawa, T., 2001, *CMP Technology for Semiconductor Planarization*, Books-Hill, Japan
- (2) Kim, S. Y., 1999, "Understanding parameters for Chemical Mechanical Polishing Process," *J. of KIEEME*, Vol. 12, No. 10, pp. 9~18.
- (3) Fu, G., and Chandra, A., 2005, "The relationship between wafer surface pressure and wafer back side loading in Chemical Mechanical Polishing," *Thin Solid Films*, Vol. 474, issue 1-2, pp. 217~221.
- (4) Peo, Z. J., 2002, "A study on surface grinding of 300mm silicon wafers," *J. of Mach. Tools & Manu.*, Vol. 42, pp. 385~393.
- (5) Won, J.-K., Lee, J.-T., and Lee, E.-S., 2008, "The Study on the Machining Characteristics of 300mm Wafer Polishing for Optimal Machining Condition," *Trans. of*

- Korean Soc. of Mach. Tool Eng.*, Vol. 17, No. 2, pp. 1~6.
- (6) Won, J.-K., Lee, E.-S., and Lee, S.-G., 2012, "The Study on the Wafer Surface and Pad Characteristic for Optimal Condition in Wafer Final Polishing," *J. of Kor. Soc. of Manu. Proc. Eng.*, Vol. 11, No. 1, pp. 26~32.
- (7) Lee, C. S., Jeong, H. D., and Kim, J. Y., 2011, "Effect of Distribution of Real Contact Pressure on CMP Characteristics," *Proc. of KSPE Autumn Conf.*, pp. 11~12.
- (8) Bae, J. H., Lee, H. S., Jeong, M. K., Lee, Y. K., Shin, W. K., and Jeong, H. D., 2010, "Analysis of Retainer Pressure Effect on Material Removal Profile and Stress Distribution in CMP," *Proc. of KSME Spring Conf.*, pp. 155~156.
- (9) An, J. H., Yuh, M. J., Kim, H. J., Seo, H. D., and Jeong, H. D., 2008, "The Effect of Pressure Condition on Edge Profile in Oxide CMP," *Prof. of KSPE Spring Conf.*, pp. 447~448.