

12인치 웨이퍼 파이널 폴리싱 머신의 가압 압력 분포 해석 Analysis of Contact Pressure Distribution for a 12" Wafer Final Polishing Machine

*#노승국¹, 박종권², 이상열², 편도선³
*S. K. Ro(cniz@kimm.re.kr)¹, J. K. Park², S. Y. Lee², D. S. Pyun³
¹한국기계연구원 지능기계연구센터, ²(주)TiC 덕흥, ³(주)실트론

Key words : 12" Wafer final polishing machine, Contact pressure distribution, Air bag head unit, Finite element analysis

1. 서론

최근의 반도체 산업은 집적도 증가를 위한 선폭의 미세화와 실리콘 웨이퍼의 대구경화에 의하여 12인치 (300 mm) 웨이퍼를 이용한 공정이 빠르게 확산되어 가고 있으며, 이를 위한 전, 후 공정관련 장비 기술개발이 절실히 요구되고 있다. 특히 실리콘 웨이퍼 공정의 효율화를 위하여 기존의 여러 단계를 연삭과 양면연삭, 최종 단면 폴리싱으로 단순화하는 추세다. 이 중 최종 웨이퍼 폴리싱 장치는 회전하는 테이블과 패드, 그리고 역시 회전하는 헤드 디스크로 구성되며, 이러한 폴리싱 가공에 있어서 웨이퍼의 표면 평탄도 및 조도 연마 패드와 웨이퍼의 상대 속도와 압력분포, 슬러리의 유량 및 종류 등의 기계 및 화학적인 조건들에 영향을 받게 된다. 기계적인 조건에서 보았을 때, 웨이퍼 표면에서의 압력분포의 균일성이 매우 중요하며, 동적인 특성으로는 회전 및 헤드 이동에 따른 진동이 영향을 줄 수 있다. 이 중, 웨이퍼의 압력 분포는 마찰력과 직접적인 관계를 갖게되며, 이러한 압력의 균일분포가 이루어지지 않는 경우, 연마된 웨이퍼 면의 형상 균일도에 악영향을 미칠 수 있게 된다. 따라서 이러한 압력분포가 균일하게 가해질 수 있는 구조의 설계가 중요하다 할 수 있다.

따라서 압력의 균일분포를 정밀하게 유지하는 메커니즘은 웨이퍼 폴리싱 장비에서 가장 중요한 부분이라고 할 수 있다. 연마를 위한 회전과, 슬러리의 원활한 공급을 위한 왕복운동과 같은 운동시의 구동부 및 연마 테이블의 변형 등에도 국부적인 압력 불균형이 발생되지 않도록 하는 것이 중요하다. 이러한 균일압력의 작용을 위하여 적용될 수 있는 방법은 크게 두가지의 상반된 구조가 있다. 다음의 Fig. 1에 나타난 바와 같이 알루미늄이나 세라믹과 같은 고강성의 초정밀 가공된 헤드 디스크 구조와 틸팅 모션을 자유롭게 할 수 있는 자동 조임형 베어링 등을 이용하는 방법과, 이와는 반대로 유연한 재료를 이용하여 공기의 직접 가압을 이용한 유연 헤드 방법이다. 장비 제조사에 따라 두가지 방법을 나누어서 적용하고 있는 실정이며, 현재는 웨이퍼의 크기가 대형화가 진행 될수록 전자의 하드 타입 헤드 보다는 후자의 공기 가압형 포함한 유연 헤드 구조가 많이 적용되고 있다.

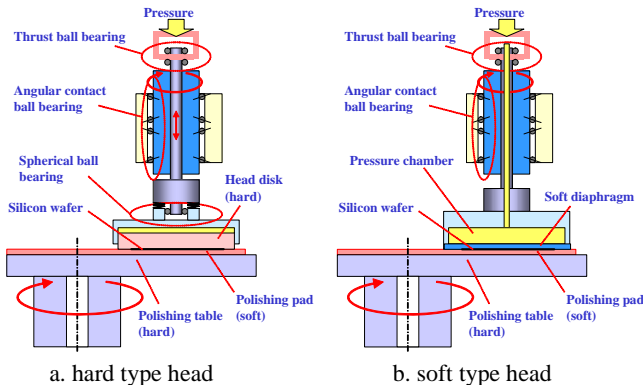


Fig. 1 Polishing head and tables for wafer polishing system

공작물인 웨이퍼에서의 가압에 의한 압력분포를 직접 측정하여 평가하는 것은 실제적으로 용이하지 않다. 이러한 분포를 정밀하게 측정할 수 있는 방법이 마땅하지 않으며, 압력 감지 필름의 측정 정밀도가 높지 않기 때문이다. 따라서 구조물의 유한요소 해석 등의 방법을 통하여, 웨이퍼면에서의 압력 분포를 해석하여 균

일 압력 분포를 해석할 필요가 있다. 이러한 데이터는 시스템의 설계 및 공정 설계에 있어서 참고 데이터로 적용될 수 있다.

본 연구에서는 웨이퍼 파이널 폴리싱 머신에서의 압력 분포 해석을 위하여, 연마 테이블과 연마 헤드, 연마 패드 및 템플리트, 웨이퍼 등으로 이루어진 유한요소 모델을 구축하고, 접촉부의 접촉 압력 및 가압에 의한 변형 등을 해석하였다. 해석은 세라믹 헤드를 이용한 하드 타입과 공기의 가압과 유연 구조를 이용한 공기 가압 헤드에 대해서 수행하였으며, 두가지의 구조에서의 압력 분포 특성을 비교하고자 하였다. 해석결과, 공기 가압의 유연 구조의 경우 압력 분포의 균일도가 더욱 우수한 것으로 나타나, 공기 가압 구조의 우수성을 확인할 수 있었다.

2. 고강성 헤드 구조의 압력 분포 해석

다음의 Fig. 2는 하드타입의 헤드 및 폴리싱 테이블의 구조를 모델링한 그림을 나타내고 있다. 헤드 및 폴리싱 테이블의 재질은 알루미늄이나 세라믹으로 이루어져 있으며, 해석을 위한 모델에서는 테이블의 구동을 위한 스프링들의 베어링 및 스프링 하우징 부분, 헤드 구동부 등은 제외하였다. 이러한 부분들은 실제 접촉부위에서의 상대 변위에 크게 영향을 미치지 않으며, 헤드의 경우 자동조심 베어링 등에 의하여 전체적인 틸팅의 영향은 없기 때문이다.

해석 툴은 ANSYS 9.0을 사용하였으며, 솔리드 모델을 이용하여 모든 구조물은 SOLID 92 요소를 적용하였다. 폴리싱 패드의 경우 패드의 물성치를 인장시험을 통하여 해석에 적용하였으며, 웨이퍼를 접촉하는 템플리트의 경우도 인장시험을 통한 Young's Modulus 를 적용하였다. 또한 접촉면에서의 접촉 압력을 확인하기 위하여, 웨이퍼면과 연마패드의 접촉면에 대하여 CONTACT 170 및 CONTACT 174 요소를 적용하였다.

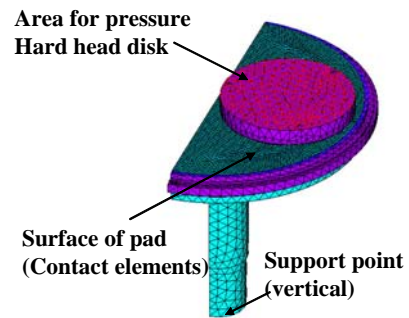


Fig. 2 Analysis model for hard type head (ANSYS 9.0)

헤드의 가압에 의한 압력은 헤드 디스크와 헤드유닛사이의 완충 유체에 의하여 균일가압이 일어난다는 가정 하에, 가압면에 균일한 압력을 작용시켰다. 다음의 Fig. 3는 공압실린더의 압력이 30 kPa 작용할 때의 웨이퍼 패드 면이 압력 분포의 해석 결과를 나타내고 있다. 또한 Fig. 4는 이때의 테이블 및 패드 부의 변위를 나타낸다. 결과를 보면 평균 압력은 약 14.4 kPa이며, 이때의 압력 편차는 4 kPa 정도로 약 28%의 편차를 나타내고 있음을 알 수 있다. 이러한 압력차이가 발생하는 이유는 Fig. 4에서와 같이 가압에 의한 테이블의 변형이 발생하는 것이 원인으로 판단된다. 즉 테이블 중앙부에서의 접촉압력보다 테이블 외각부의 접촉압력이 작게 나타나고 있는 특성을 보이고 있다.

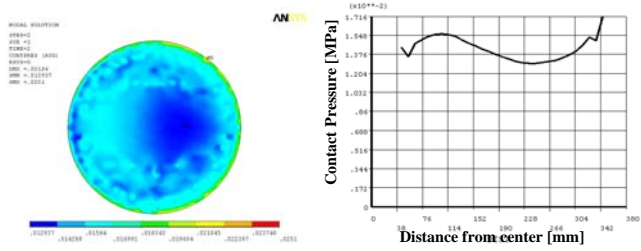
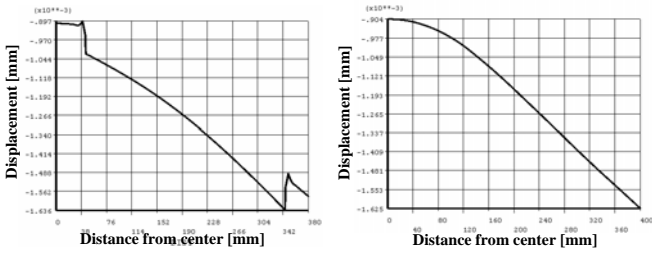


Fig. 3 Pressure distribution at wafer with hard head (30kPa) .



a. at polishing pad surface b. table surface

Fig. 4 Displacement of pad and table by polishing pressure 30 kPa.

이러한 압력 차이는 폴리싱 과정에서 회전 및 왕복이 일어나면서 웨이퍼면에 대해서는 계속 변동이 일어나는 특성을 갖게 되므로, 전체 가공시간에서는 평균화 과정이 일어날 것으로 예측된다. 다만, 이러한 압력의 편차를 최소화하기 위해서는 테이블의 변형을 최소화 하는 것이 바람직 하다 할 수 있다.

3. 공기 가압 유연 헤드 구조의 압력 분포 해석

다음의 Fig. 5는 본 논문에서 적용하고 있는 공기원충 헤드를 이용한 모델의 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, 리테이너면 사이에 CONTACT 요소를 적용하여 접촉 압력 및 변위 분포를 계산하였다.

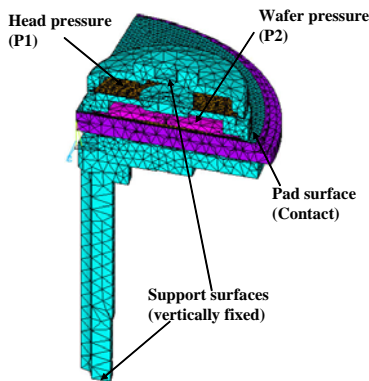


Fig. 5 Analysis model for contact pressure of wafer polishing system using soft type head. (ANSYS 9.0)

이때, 가압 되는 압력은 두 군데로 나누어지게 되는데, 웨이퍼의 공기가압을 위하여 고무와 같은 유연재질로 되어있는 막에 압력(P2)를 가하게 되며, 전체 헤드에 대해서는 상부의 압력 P1을 가하게 되는 구조이다. 최종적으로 웨이퍼에 작용되는 압력은 웨이퍼부 가압력 (P2)와 비슷해지며, 리테이너에 작용되는 압력은 P1에 의한 반력이 제외된 압력이 가해지게 된다. 해석 모델에 적용된 고무패드의 경우, 가압에 의한 변형이 크게 나타나지 않을 것으로 판단되어 선형재료의 물성치를 적용하였다.

다음의 Fig. 6은 P1=20 kPa, P2=12 kPa의 압력이 작용하는 경우의 웨이퍼 및 리테이너 부위의 접촉압력을 나타내고 있다. 웨이퍼면의 압력은 P2와 비슷하게 분포하고 있으며, 리테이너 부위의 압력은 약 5 kPa 정도로 나타나고 있다. 특히, 웨이퍼 부분에 작용하는 압력의 편차가 거의 없는 것을 확인할 수 있다.

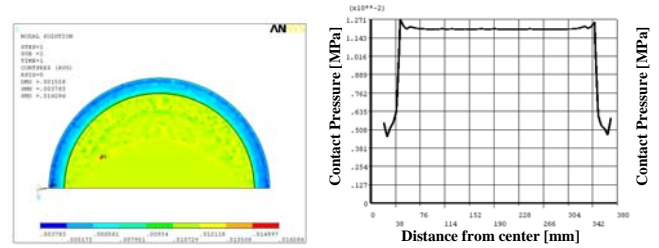


Fig. 6 Contact pressure of wafer and retainer (P1=20 kPa, P2=12 kPa)

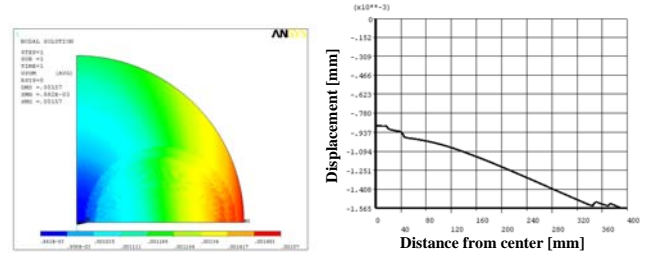


Fig. 7 Displacement of pad surface (P1=20 kPa, P2=12 kPa)

Fig. 7에 나타난 변위분포를 보면, 테이블이 가압에 의하여 발생하는 변형은 하드타입과 같은 경향으로 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 변형에도 접촉 압력이 균일하게 나타난 것을 토대로, 공기가압식 유연헤드가 웨이퍼 가압의 균일도에 대해서는 매우 우수한 특성을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

4. 결론

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, 접촉부의 CONTACT 요소를 적용하여 압력 분포를 계산하였다. 세라믹 재질을 이용한 하드타입의 헤드구조와 유연재질을 이용하고 공기가압을 직접가압하는 헤드 구조에 대하여 가압시의 압력 분포를 해석하였으며, 하드 타입의 경우에는 테이블의 변형에 의하여 압력편차가 25%이상 발생하는 것을 알 수 있었다. 그러나 공기가압형 유연구조에서는 압력편차가 거의 발생하지 않아 공기가압형 헤드 구조가 웨이퍼 면의 균일가압 특성에 있어서는 매우 유리함을 해석적으로 확인할 수 있었다.

후기

본 연구는 산업 자원부가 주관하는 “지역산업 중점기술개발사업”의 지원에 의해 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. Doi, T., and Kasai, T., 1998, CMP Technology for Semiconductor Planarization Process
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., "The relationship between wafer surface pressure and wafer back side loading in Chemical Mechanical Polishing," Thin Solid Films, Vol. 474, 2005, pp. 217-221.