

Chemical Mechanical Polishing(CMP) 공정에서 웨이퍼에 작용하는 압력분포 해석

김기현*(서울대학교 대학원 기계항공공학부), 오수익(서울대학교), 전병희(인덕대학)

주제어 : Chemical mechanical polishing/planarization (화학적기계연마), Pressure distribution (압력분포), Slurry hydrodynamics (완전유체유회), Contact mechanics (접촉연마)

반도체 공정 중의 하나인 화학적 기계연마 공정(CMP: Chemical Mechanical Planarization/polishing)은 반도체 웨이퍼의 광역 평탄화를 가능하게 하는 핵심 공정기술이며, 현재 구리배선 공정(damascene)을 가능하게 하는 유일한 기술로 알려져 있다. CMP 공정기술은 1990년대 중반에 (주)IBM에 의해 개발된 이후 지속적으로 발전하여왔으나, 그 역사가 다른 장비에 비해 비교적 짧고 무수히 많은 공정 변수들이 사용되기 때문에 그 기본적인 메커니즘이 완벽하게 이해되지 못하고 있다. 따라서 안정적인 CMP 공정을 수행하기 위해 최적의 공정조건을 찾는 유일한 현재의 방법은, 각각의 연마 대상 재료에 대해 충분한 실험을 하는 것이다. 그러나 연마 대상이 되는 재료는 SiO₂에서 텅스텐, 알루미늄, 구리와 같은 금속을 거쳐 현재 저유전물질(low-k material)로 빠르게 변화해 나가고 있다. 이는 각각의 연마 대상에 대해 충분한 실험을 하기에는 그 소요되는 시간이 너무나도 길다는 것을 뜻한다. 따라서 실험에만 의존하는 기존의 방법으로는 앞으로의 새로운 변화에 신속하게 대처할 수 없다.

Preston에 의하면 재료의 연마속도는 적용압력과 상대속도 그리고 화학적인 요소 등을 포함하는 Preston 상수의 곱으로 표현하였고, 이는 oxide CMP 공정에서의 평균적인 실험 결과와 상당히 잘 맞는다. 문제가 되는 것은 증류수만을 사용한 CMP 공정에서 일정한 상대속도에서도 불구하고 발생하는 웨이퍼 내의 불균일한 연마속도(WIWN: within wafer non-uniformity)를 설명하지 못하고 있는 것인데, 이는 웨이퍼의 연마면에 작용하는 전체적인 압력 분포를 정확하게 알고 있지 못하기 때문이다. 이에 기존의 연구에서 여러 가지 이론적 모델을 이용하여 웨이퍼와 패드 사이의 유동장의 압력분포를 예측하려는 많은 시도를 하였다. 이러한 모델들은 크게 두 가지에 초점을 맞추고 있는데, CMP 공정이 웨이퍼와 패드가 접촉한 상태를 유지하고 진행된다는 것을 가정하고 웨이퍼에 작용하는 von Mises 응력분포를 고려하는 것이 하나이고, 유체유회에 의해 웨이퍼와 패드가 완전히 분리된 상태에서 CMP 공정이 진행된다는 것을 가정하고 완전유체유회(hydrodynamic lubrication)에 의한 압력분포를 고려하는 것이 또 다른 하나이다.

본 논문에서는 두 가지 이론 모두에 의해서 웨이퍼에 작용하는 압력분포가 결정 되어야 한다는 것을 설명하고 있다. 즉, 가장자리 부분에서는 접촉압력에 의한 압력분포를, 중심부분에서는 유체유회에 의한 압력분포를 각각 따로 고려해야 한다는 것이다. 이를 뒷받침하기 위한 실험적 자료로 Chunhong Zhou 등의 실험 결과를 인용하였고 이와 비교 검증하였다.

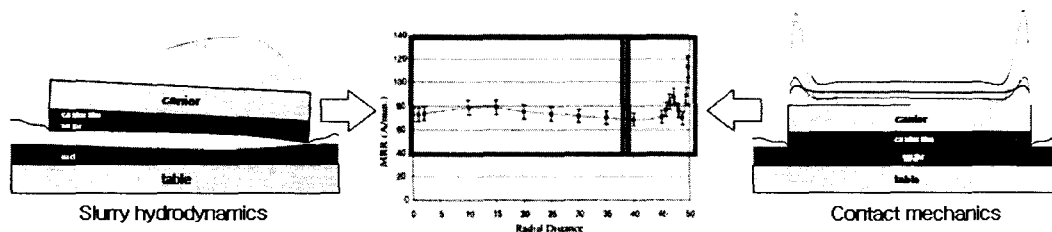


Fig. 1 Pressure distribution on wafer surface explained by both slurry hydrodynamics and contact mechanics.