

Cu CMP 에서 웨이퍼 사이즈에 따른 연마율 경향성과 열적효과 Removal Rate and Thermal Effect on Wafer Size in Cu CMP

*박영봉¹, 안준호¹, 이명환², 김형재³, 정해도¹

*Y. B. Park¹, J. H. Ahn¹, M. H. Lee², H. J. Kim³, #H. D. Jeong(hdjeong@pusan.ac.kr)¹

¹ 부산대학교 기계공학과 정밀가공시스템, ² 지엔피테크놀로지(주) ³ 생산기술연구원,

Key words : CMP, thermal effect, Cu, removal rate

1. 서론

화학기계적연마(Chemical Mechanical Polishing: CMP)는 연마액에 포함되어 있는 반응성을 가지는 연마액의 화학적 작용과 나노미터 크기를 가지는 연마입자의 기계적 작용의 상승효과를 이용하여 재료의 표면을 원자수준의 표면거칠기로 가공하는 기술이다. 따라서 이러한 원자수준의 표면을 얻을 수 있는 특성을 이용하여 주로 반도체 공정 분야에 적용되며 특히 공정과 공정 사이에 발생하는 웨이퍼 표면의 요철부를 제거해주는 평탄화 공정에 가장 활발하게 적용되고 있다. 또한 화학적 및 기계적 효과의 상승작용이 재료의 연마율을 결정하는 주요 인자이므로 화학적 조건에 영향을 미치거나 기계적 조건에 영향을 미치는 인자가 연마에 작용되는 경우 연마율의 변화가 발생하게 된다.

현재 반도체 소자를 제조하는 공정에서 가장 많이 사용되는 배선재료는 구리로서 이러한 구리는 일렉트로마이그레이션(electromigration)에 강하고 전기저항이 기존 알루미늄 배선보다 낮아 소자의 작동속도를 높이는데 필수적으로 사용되고 있다. 따라서 본 실험에서는 CMP 공정이 가장 많이 적용되는 구리 CMP 에서 연마율에 영향을 미치는 인자인 온도의 영향을 분석하고자 한다. 또한 일반적으로 슬러리 등의 소모품 개발을 위해 자주 사용되고 있는 작은 크기의 웨이퍼를 사용해 소모품 개발을 수행하는 경우 실제 대구경 웨이퍼와의 연마현상 차이에 대해 고찰을 수행하고자 한다.

구리 CMP 의 가장 큰 특징 중 하나는 슬러리와 주변 환경에서 받는 강한 화학적 영향이다. 화학적 효과가 연마 중 크게 작용하기 때문에 연마온도나 주변 환경온도의 변화에 따라 연마율이 쉽게 영향을 받게 되어 일관적인 연마율을 유지하는데 영향을 미치게 된다. 이러한 온도의 영향은 주로 환경 자체의 영향(연마패드에 누적되는 온도의 변화, 연마장치 내부의 온도변화 등)과 더불어 연마 시 마찰력에 의해 자발적으로 발생하는 연마온도의 영향으로 나누어 생각할 수 있다. 이 중 환경 자체에 의해 발생하는 열 영향은 연마테이블의 능동적인 냉각 방법이나 CMP 장치 내부 기류의 순환 등이 전체 온도에 영향을 미친다. 또한 마찰력에 의해 자발적으로 발생하는 연마온도의 경우 마찰력의 크기에 비례하여 최대 연마온도가 결정되는 경향성을 가지므로 연마 대상 웨이퍼의 크기와 연마압력, 상대속도 및 슬러리의 유량 등에 의해 영향을 받는다.

구리의 연마율은 화학적 영향성으로 인하여 온도가 높아질수록 화학반응성이 커지게 되며 이러한 원인에 의해 연마율은 온도에 일반적으로 비례하여 증가하게 된다. 또한 마찰력에 의해 자발적으로 발생하는 연마열의 경우 웨이퍼의 크기가 커질수록 증가하게 된다. 이러한 원인은 웨이퍼의 직경이 커질수록 웨이퍼와 패드사이의 직접 접촉길이 길어지기 때문에 단위시간당 마찰에너지의 축적이 커져 높은 연마온도로 이어진다. 따라서 향후 웨이퍼의 크기가 커지게 되는 경우 동일한 소모품을 이용하여 연마하게 되는 경우 연마열의 영향으로 인하여 연마현상의 변화가 예상되며 본 연구에서는 이러한 웨이퍼의 크기변화가 향후 연마에 어떠한 영향을 미치게 될 것인가에 대해 연구를 수행하고자 한다.

2. 실험 및 고찰

2-1 실험 조건

본 실험에서는 CMP 공정 중에서 웨이퍼 사이즈와 외부에서 주어지는 열적 변화에 따른 연마율의 변화를 살펴보기 위하여 Fig. 1 과 같은 실험 장치를 구성하였다. CMP 장비는 지엔피테크놀로지(G&P TECHNOLOGY)사의 POLI-500 장비를 사용하였다. 실험에 사용된 웨이퍼 사이즈는 100mm, 150mm, 200mm 이며, 각 사이즈의 웨이퍼가 동일한 성질의 박막과 두께를 가지도록 하기 위하여, CCL(Copper Clad Laminate, 동박 적층판) 원판을 100mm, 150mm, 200mm 로 가공을 하여 웨이퍼 대용으로 사용하였다. CCL 은 인쇄 회로 기판의 원자재로 널리 사용되고 있으며, 본 실험에 사용된 CCL 은 ISOLAR Laminate Systems Corps. 의 FR402BS 를 사용하였다. 이것은 Epoxy Resin 과 Continuous Filament Fiber Glass 가 여러 겹으로 가열, 가압 처리된 적층판 양면으로 구리(순도 99.8% 이상)를 전기 분해법으로 회전 드럼에 얇게 도금하여 말아내는 방법으로 제조된 710um 두께의 동박을 접착한 것이다.

또 다른 가변 조건으로 Chiller 를 이용하여 테이블의 온도를 20℃, 30℃, 40℃로 변화를 주어서 테이블 온도 변화에 따라 연마율에 어떤 영향을 미치는지 실험을 하였다. 실험 중 외부환경에 의한 온도변화를 최소화하기 위하여 20℃로 외부온도를 일정하게 유지시켰으며, 슬러리에 의해서 영향을 크게 받는 Cu 박막이므로, 동일한 화학조성비로 제조된 슬러리를 사용하였다.(DIW + Colloidal silica 3wt% + CA 0.02M + BTA 0.05wt% + H₂O₂ 3vol%) 유량은 300 ml/min 로 통일하였고, 슬러리의 drop point 또한 같은 위치로 고정하였다. 다른 실험 조건들은 Table 1 에 나타내었다.

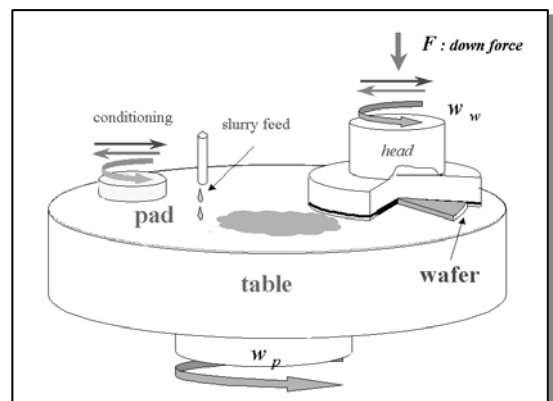


Fig 1 Schematic figure of experimental set up

Table 1
Experimental conditions

Parameters	Condition or types
Pressure	Wafer 210 / Retainer 280 g/cm ²
Velocity	Head 87 / Table 93 rpm
Conditioner	123 rpm
Polishing pad	IC1400

Slurry flow rate	300 ml/min
Temperature	20℃
Polishing time	60 sec
Complexing agent	Citric acid(C ₆ H ₈ O ₇)
Oxidizer	Hydrogen peroxide(H ₂ O ₂)
Abrasive	Collidal silical(Sigma-Aldrich)
Corrosion inhibitor	Benzotriazole(BTA, C ₆ H ₄ N ₃ H)
pH adjustor	NH ₄ OH

2-2. 실험 결과 및 고찰

웨이퍼의 사이즈와 테이블 온도를 변화 시키며 실험한 결과를 Fig. 2 와 3 에 나타내었다. 각 온도조건에서 100mm, 150mm, 200mm 웨이퍼 사이즈 당 3 장씩 연마를 하여 총 27 장을 연마를 하였다.

Fig. 2 는 각 웨이퍼 사이즈에서 테이블 온도가 바뀔 때 패드면 위에서 연속적(100Hz)으로 측정된 온도를 나타낸 그래프이다. 웨이퍼가 패드와 접하여 연마되는 동일한 지점을 측정하여, 연마 시 웨이퍼의 온도경향을 알 수 있다. 그래프에서 테이블 온도가 20℃, 30℃, 40℃로 변환에 따라 패드와 웨이퍼 사이의 실제 연마온도 또한 높아지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3 에서는 웨이퍼 사이즈에 따라 실제 연마온도에 차이가 있음을 알 수 있다. 6inch 웨이퍼가 가장 높게 실제 연마 온도가 측정되었고, 4inch, 8inch 의 실제 연마 온도는 비슷하게 측정되었다.

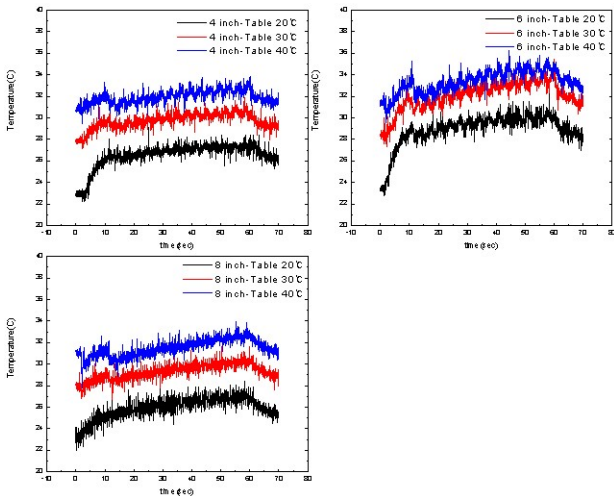


Fig. 2 Pad temperature during CMP with respect to the table temperature(20℃, 30℃ and 40℃).

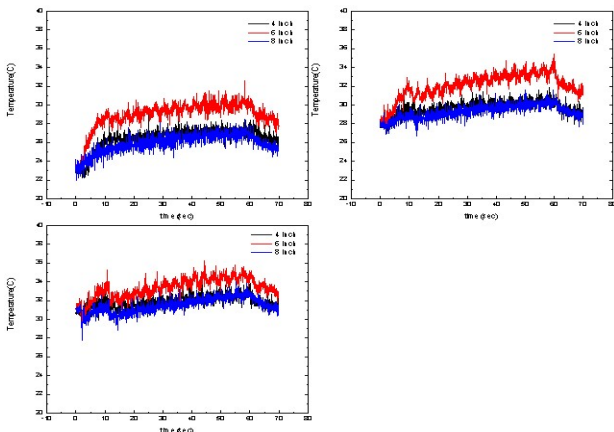


Fig. 3 Pad temperature during CMP with respect to the wafer size(4inch, 6inch and 8inch).

최종적으로 Fig. 4 에서 테이블 온도와, 웨이퍼 사이즈에 따른 연마율을 비교하여 보면, 테이블 온도(20℃, 30℃, 40℃) 와는 상관없이 웨이퍼 사이즈가 150mm 일 때 연마율이 가장 높게 나왔고, 또 웨이퍼 사이즈(4inch, 6inch, 8inch) 에는 상관없이 테이블의 온도가 20℃ 보다 30℃ 일 때 연마율이 높게 나왔다가 40℃가 되면 연마율이 떨어지는 것을 그래프를 통하여 알 수 있었다.

실험결과를 통하여 확인해 본 결과, 외부에서 가해지는 열적효과가 높다고 해서 무조건 연마율이 높아지는 것이 아니고 너무 높아지면 오히려 연마율이 떨어지므로 Cu CMP 에서 테이블 온도를 40℃까지 올리는 것은 연마율면에서 보면 불필요하다고 하겠다. 그리고, 4 인치에서 6 인치로 웨이퍼 크기가 증가하는 경우 동일한 조건에서 연마율이 증가하였으나 8 인치의 경우 연마율과 연마온도 모두 떨어지게 되는 현상은 일반적으로 예상되어진 것과 크게 다르므로 추가실험을 통하여 검증되어야 하겠다.

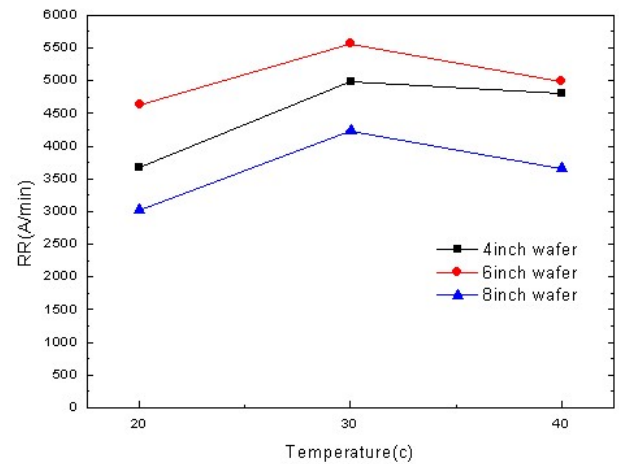


Fig. 4 Removal rate with respect to the table temperature(20℃, 30℃ and 40℃) and wafer size(4inch, 6inch and 8inch).

3. 결론

실험을 통하여 CMP 공정 중에서 웨이퍼 사이즈와 외부에서 주어지는 열적 변화에 따른 연마율의 변화가 어떻게 일어나는지 확인하였다. 연마가 이루어지는 온도가 적정한 선까지는 연마율이 증가하였으나, 더 높아지면 오히려 연마율이 줄어드는 것을 확인 할 수가 있었다. 4 인치에서 6 인치로 웨이퍼 크기가 증가하는 경우 동일한 조건에서 연마율이 증가하였으나 8 인치의 경우 연마율과 연마온도 모두 떨어지게 되는 현상은 일반적인 예측과 벗어나 있어 이 부분에 대해서는 추가실험을 통하여 현상을 규명하고자 한다.

참고문헌

1. Hyunseop Lee, Boumyoung Park, Heado Jeong, "Influence of slurry components on uniformity in copper chemical mechanical planarization", microelectron. Eng. 2008
2. David White, Jason Melvin, Duane Boning, "Characterization and Modeling of Dynamic Thermal Behavior in CMP", Journal of the ECS, 150, G271-G278, 2003
3. 정영석, 김형재, 최재영, 정해도, "슬러리 온도 및 유량에 따른 CMP 연마특성", 한국정밀공학회지, 21, 46-52, 2004