

## CMP 결과에 영향을 미치는 열적거동 특성에 관한 연구

정영석, 김형재\*, 최재영\*\* 김구연\*, 정해도\*\*\*

부산대학교 정밀기계대학원, 부산대학교 정밀기계대학원\*, 부산대학교 정밀정형협동과정\*\*, 부산대학교 정밀기계대학원\*, 부산대학교 기계공학부\*\*\*

### Investigation of Thermal Behavior Characteristic in Chemical Mechanical Polishing Performance

Youngseok Jeong, Hyoungjae Kim\*, Jaeyoung Choi\*\*, Gooyoun Kim\*, Haedo Jeong\*\*\*

PNU Precision and Mechanical Engineering, PNU Precision and Mechanical Engineering\*, PNU ERC., PNU Precision and Mechanical Engineering\*\*, PNU Mechanical Engineering\*\*\*

#### Abstract

The design rules are being more strict with requirement of operation speed and development of IC industry. For this reason, required minimum line-width has been narrowed under sub-micron region. As the length of minimum line-width is narrowed, local and global planarization are being prominent. CMP(Chemical-Mechanical Polishing), one of the planarization technology, is a process which polishes with the ascent of chemical reaction and relative velocity between pad and wafer without surface defects. CMP is performed with a complex interaction among many factors, how CMP has an interaction with such factors is not evident. Accordingly, the studies on this are still carrying out. Therefore, an examination of the CMP phenomena and an accurate understanding of compositive factors are urgently needed. In this paper, we will consider of the relations between the effects of temperature which influences many factors having an effect on polishing results and the characteristics of CMP in order to understand and estimate the influence of temperature. Then, through the interaction of shown temperature and polishing result, we could expect to boost fundamental understanding on complex CMP phenomena.

#### 1. 서론

반도체 제조 공정에서 CMP는 광역 평탄화를 위한 필수 불가결한 공정으로 적용되고 있다. CMP는 슬러리(Slurry)에 의한 화학적 작용과 패드와 웨이퍼 간의 상대 운동에 의한 기계적 작용의 상승효과에 의하여 재료의 표면에 결함을 남기지 않고 연마하는 방법이다[1]. CMP 공정에서 연마 특성에 영향을 미치는 인자들은 크게 연마 공정에서 발생하는 인자, 피가공물에 대한 인자 그리고 공급되는 소모재의 재료 물성에 대한 인자 등 여러 가지가 있다.

CMP 결과는 이와 같은 많은 인자들의 독립적인 영향과 인자들 사이의 상호작용에 의해 매우 복잡

한 연마 특성을 보인다. 따라서 연마 특성을 정확히 파악하는 것은 매우 어려운 과제이다[2].

많은 인자들의 복합적 상호 작용은 연마 공정중 열에너지로 전환되어 온도로 표현 되어진다. 따라서 본 논문에서는 가공 공정에서 발생하는 연마 온도가 CMP 결과에 미치는 영향에 관하여 연구하였다. 본 연구를 통해 CMP 공정에서 발생하는 연마 온도, 패드의 반경 방향으로 나타나는 불균일한 온도 분포, 슬러리의 공급 조건에 따른 온도 편차와 이 점이 연마 결과에 미치는 영향을 고찰하여 CMP 현상에 대한 보다 근본적인 이해를 높이고 새로운 공정조건과 보다 향상된 연마 결과를 얻을 수 있을 것으로 예상된다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 온도 변화와 연마 특성

CMP 결과를 평가하는 중요한 인자인 연마율은 온도의 영향을 많이 받으며 온도 상승에 비례하여 증가한다. 이것은 일반적으로 온도가 상승 할수록 화학 용액인 슬러리의 활성화(Activity)가 증가하여 화학 반응성이 증가하기 때문이다[3]. 또한 연마온도가 상승하게 되면 패드의 전단계수(Shear-Moduli)가 감소하게 되어 연마 균일도를 증가 시키며 온도가 증가할수록 연마율은 증가하게 된다[4]. 그러므로 CMP 공정에서 발생하는 온도변화는 연마 결과에 영향을 미치는 중요한 인자이다.

연마 공정중 발생하는 온도 분포에 가장 큰 영향을 미치는 것은 압력과 속도 조건 이외에 슬러리에 의한 냉각효과가 있다. 또한 압력과 속도 조건이 동일할 경우 슬러리의 유량과 온도가 증가할수록 연마율은 증가하게 된다[5].

그러나 슬러리 공급 유량이 증가하면 연마율도 비례해서 증가 하는데 슬러리의 유량이 임계 지점(Threshold Point)을 넘어서면 더 이상 연마율이 증가하지 않는 현상이 발생하게 된다[6]. 이와 같은 슬러리 유량의 변화에 따른 연마율 곡선에서 임계 지점 발생 현상은 CMP 공정에서 잘 알려져 있는 현상이다. 그러나 그 원인에 대한 명확한 규명은 아직 이루어 지지 않고 있다.

### 2.2 연마 온도의 발생원인

CMP 공정은 슬러리에 의한 화학반응으로 재료의 표면에 생성된 연화된 반응층을 물리적인 하중을 가하여 슬러리 내의 연마 입자가 패드와 웨이퍼 사이의 상대 운동을 통하여 기계적인 마찰 작용으로 재료를 제거해 나가게 된다. 이때 재료제거를 위하여 공급되는 압력, 속도 그리고 슬러리의 상호작용이 화학 기계적인 에너지로 전환되어 재료의 표면을 제거해 나가게 된다. 공급되는 압력에 의하여 패드와 웨이퍼가 접촉하게 되고, 이 접촉으로 인한 마찰에 의하여 연마열이 발생하게 된다[7]. 이것은 패드의 온도 상승에 기인하게 되어 연마 결과에 영향을 미치게 된다.

CMP 공정은 Fig. 1과 같이 패드의 일정 부분이 웨이퍼와 주기적으로 접촉하기 때문에 일정 간격으로 에너지를 공급 받는 구간 1과 다시 손실하는

구간 2의 과정을 반복하게 된다. 연마 중 주기적으로 공급되는 에너지는 웨이퍼 표면과 패드 그리고 슬러리의 마찰에 의하여 열에너지로 전환되고 일부는 재료의 제거에 사용되며 일부는 손실된다. CMP 공정에서 열에너지로 전환되어 손실되는 에너지에는 여러 인자 중에서 슬러리에 온도에 의한 냉각 효과(Cooling effect)가 가장 큰 것으로 알려져 있다[8].

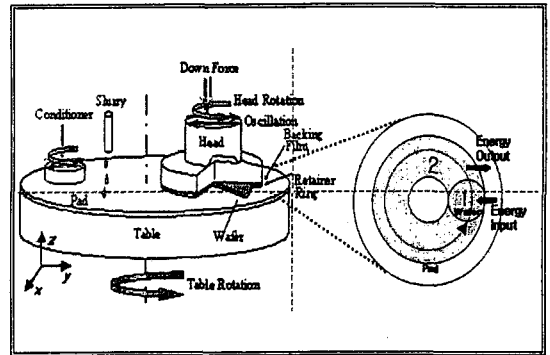


Fig. 1. Schematic diagram of CMP equipment and the Energy cycle for a particular point on the pad during CMP process.

## 3. 실험

본 실험에서는 슬러리의 온도와 유량을 조절하여 패드 반경 방향으로 발생하는 온도 분포를 측정하기 위하여 Fig. 2와 같이 실험 장치를 구성하였다.

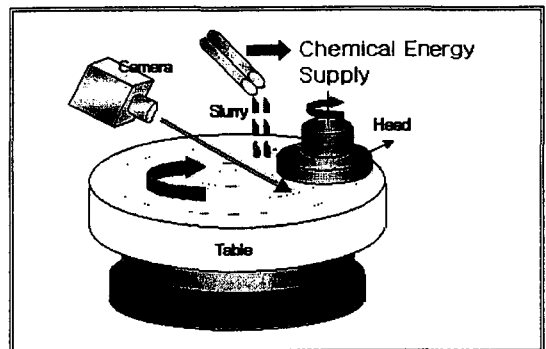


Fig. 2. Schematic diagram for measurement of temperature on pad.

연마 직후의 온도 측정을 위해 웨이퍼와 패드의

접촉이 끝나는 부분의 온도를 측정하였다. 측정은 패드의 반경 방향으로 10mm의 등간격으로 측정하였으며, 온도가 일정하게 안정되는 연마 시작후 60초부터 측정하였다.

CMP 장비는 지엔피테크놀로지(G&P TECHNOLOGY)사의 POLI-400을 사용하였다. 온도 측정은 적외선(IR) 카메라를 이용하였다. 온도 측정에 사용된 적외선 카메라는 MINOLTA사의 TA-0510F이다. 이 장비는 500mm이상에서부터 측정 가능하고 측정온도 범위는  $-50.5^{\circ}\text{C} \sim 199.9^{\circ}\text{C}$  ( $0.1^{\circ}\text{C}$  step)이다. 측정오차를 줄이기 위하여 측정 지점으로부터 최소 측정 가능거리인 500mm떨어진 지점에서 측정하였다. 또한 외부환경에 의한 온도 변화를 최소화하기 위하여 외부 온도를  $23^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 유지하였다. 연마 온도의 누적으로 인한 오차를 제거하기 위하여 매 연마 후 DI(Deionized water)로 충분히 냉각시켜 외부 온도와 같은 상태로 유지한 후 실험을 수행하였다.

공급되는 화학에너지의 변화를 조절하기 위하여 슬러리 공급 유량은 10, 25, 50, 100, 200, 400ml/min으로 조절 하였다. 손실되는 냉각 에너지의 조절을 위하여 슬러리 온도는 연마 공정에서 발생하는 온도와 유사한  $35^{\circ}\text{C}$ 의 고온,  $23^{\circ}\text{C}$ 의 상온 그리고  $13^{\circ}\text{C}$ 의 저온으로 실험 하였다. 모든 연마 시행 전 20초 동안 컨디셔닝을 수행하였다. 사용된 컨디셔너는 4인치 다이아몬드 컨디셔너이다. 다른 실험 조건들은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Experimental condition.

	Condition or Type
Pad	IC 1400™ (Hard/Soft stacked, Rodel)
Slurry	ILD 1300™ (Rodel)
Pressure	500g/cm <sup>2</sup>
Velocity	Table and Head : 60 rpm
Workpiece	SiO <sub>2</sub>
IR Camera	TA-0510F (MINOLTA) Range: $-50.5^{\circ}\text{C} \sim 199.9^{\circ}\text{C}$ ( $0.1^{\circ}\text{C}$ step)

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 슬러리 유량 및 온도변화에 따른 연마율

슬러리의 공급유량과 온도를 변화 시키며 실험

한 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

실험 결과에서 상온( $23^{\circ}\text{C}$ )과 저온( $13^{\circ}\text{C}$ )의 슬러리를 공급하는 경우, 슬러리 유량이 100ml/min까지는 연마량이 급격히 증가한다.  $100 \sim 200$ ml/min 사이에서는 일정하게 유지되고 200ml/min 이후에는 연마량이 줄어들게 된다. 이와 같이 상온과 저온 슬러리에서 임계 지점 발생 현상은 Fig. 4와 같이 설명 할 수 있다.

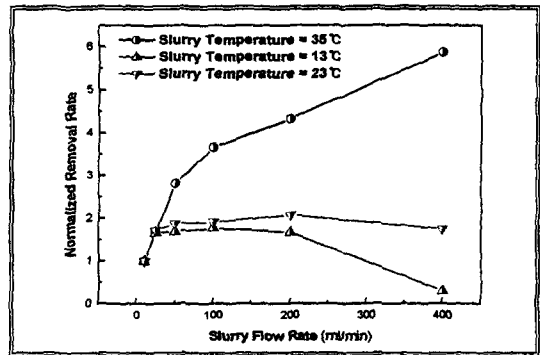


Fig. 3. Normalized removal rate variation with flow rate of slurry.

상온( $23^{\circ}\text{C}$ )과 상온보다 낮은 저온( $13^{\circ}\text{C}$ )의 슬러리를 공급하는 경우 슬러리의 공급량을 증가시키게 되면 일정 수준까지 연마량이 급격히 증가하게 된다. 슬러리 공급량을 증가시키면 공급되는 화학액의 양이 많아지기 때문에 화학반응이 더욱 활발하게 되고, 연마에 참여하는 입자의 양이 많아지기 때문에 연마량이 증가하는 것으로 생각할 수 있다.

또한 공급량이 점차 증가하여 웨이퍼 박막과 충분히 반응하고도 잉여 양이 생기는 경우, 즉 공급되는 화학적 에너지가 한계에 이르는 경우 (Chemical activation limits) 유량을 증가시키더라도 더 이상 연마량은 증가하지 않는 임계 지점이 발생하는 것을 볼 수 있다. 화학적 에너지의 한계에 이르는 유량을 넘어서면 연마율이 감소하게 되는데, 이는 공급되는 슬러리가 냉각 작용을 하는 것으로 생각된다. 이러한 슬러리의 냉각 작용에 의한 연마율의 감소 현상은 패드 온도와 슬러리 온도가 유사해 지는 유량(Cooling effect limit)까지 이어진다.

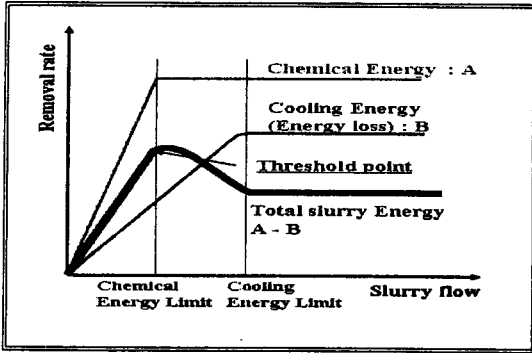


Fig.4. Conceptual diagram of reaction energy or removal rate as a function of flow rate and low temperature of slurry.

또한 상온보다 높은 고온(35℃)의 슬러리를 이용하여 실험 하였을 경우 유량의 증가에 따라 실험영역 내에서 연마율이 계속 증가하며 임계 지점 발생 현상이 나타나지 않게 된다. 이러한 현상은 Fig. 5과 같이 설명 할 수 있다.

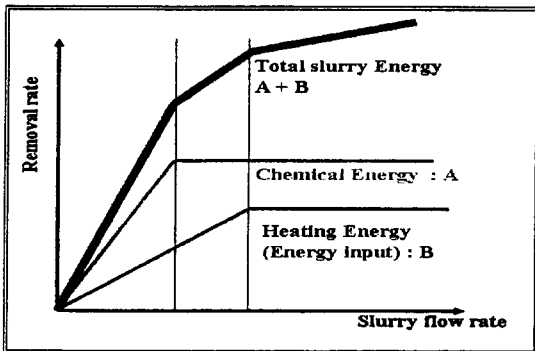


Fig.5. Conceptual diagram of reaction energy or removal rate as a function of flow rate and high temperature of slurry.

상온보다 높은 고온(35℃)의 슬러리를 이용하여 실험 하였을 경우 유량 증가에 따라 공급되는 화학에너지가 증대되어 연마율이 급격히 증가하게 되고 상온과 저온 슬러리의 냉각 효과와는 달리 유량이 증가 할수록 추가로 열에너지가 공급되기 때문에 유량에 따른 온도 증가율의 크기는 감소하나 실험영역 내에서 계속 증가하는 것을 알 수 있다.

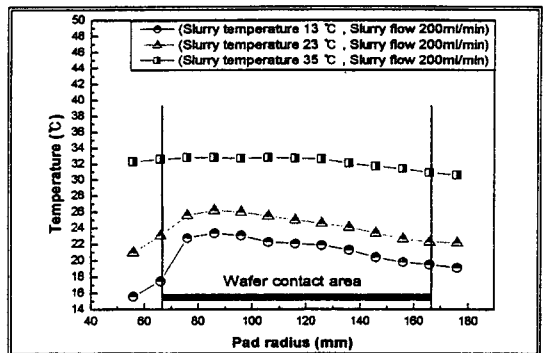
따라서 본 실험을 통하여 명확히 규명되지 않

은 슬러리 유량과 온도의 변화에 따른 연마율의 변화와 임계 지점 발생 현상을 공급되는 화학 에너지 변화와 냉각효과의 균형으로 설명 하였다.

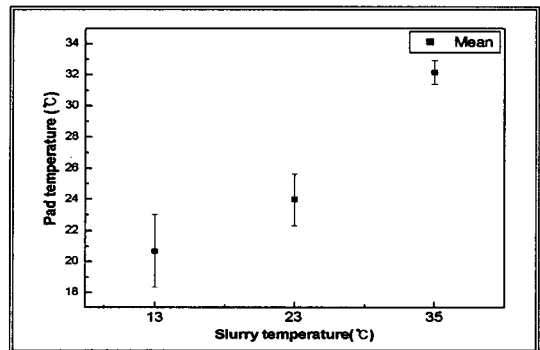
#### 4.1 슬러리 온도변화에 따른 연마 불균일도

슬러리 온도에 따른 패드 반경 방향 온도 분포를 Fig. 6(a)에 도시하였다.

실험 결과에서 상온(23℃)과 저온(13℃)의 슬러리보다 고온(35℃)의 슬러리에서 패드 반경 방향 온도 분포의 편차가 더 작다는 것을 알 수 있다. 온도 분포 편차는 Fig. 6(b)에 나타내었다.



(a) Pad temperature distribution as slurry temperature



(b) Pad temperature deviation as slurry temperature

Fig.6. Pad temperature distribution and deviation as slurry temperature.

웨이퍼 내의 연마 불균일도는 CMP 결과를 평가하는 중요한 요소 중 하나이다. Fig. 7에 도시된 그

래프는 슬러리 온도에 따른 연마 불균일도의 편차를 보여준다. 실험 결과에서 패드 상의 온도 분포가 가장 균일한 고온(35°)의 슬러리를 사용 하였을 경우 연마 불균일도의 편차가 가장 작다는 것을 알 수 있다.

패드 반경 방향 온도 분포의 편차는 웨이퍼 면적이 대구경화 될수록 더욱 커질 것이며 이에 따른 연마 불균일도의 편차 또한 더욱 증가할 것이라 생각된다. 그러므로 슬러리 입자의 응집이 발생하지 않는 온도 범위 내에서, 공급되는 슬러리의 온도를 상승시키는 것은 패드 반경 방향의 온도 분포 편차를 감소시키고 연마 불균일도를 개선시킬 수 있을 것으로 사료된다.

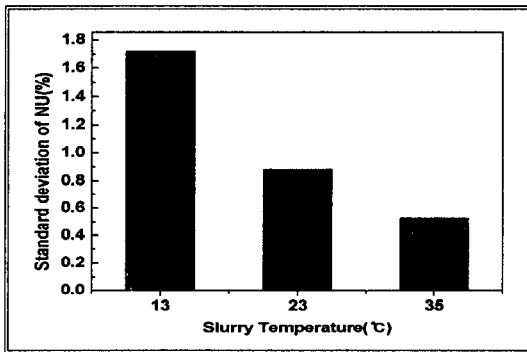


Fig. 7. WIWNU(Within wafer Non-Uniformity) deviation as slurry temperature.

#### 4. 결론

CMP 특성에 크게 영향을 미치는 슬러리(Slurry) 물성치는 온도 변화에 매우 민감하다. 또한 그 공급량은 연마 결과와 큰 상관관계를 가진다. 그러므로 슬러리의 유량과 온도 변화 실험은 CMP 현상을 이해하는 중요한 요소가 된다. 실험 결과는 다음과 같다.

(1) 슬러리의 공급 유량에 따른 임계 지점 발생 현상은 화학적 에너지 공급과 냉각효과의 균형으로 설명된다.

(2) 동일 연마 조건에서, 연마 공정에서 발생하는 온도와 유사한 고온(35°)의 슬러리를 사용할 경우 패드 반경 방향 온도 분포의 편차가 감소하며 연마 불균일도의 편차 또한 줄어들게 된다.

본 연구를 통하여 연마율 획득에 필요한 슬러리 공급 유량과 온도를 보다 효율적으로 설정 할 수

있을 것으로 사료되며 적절한 공정 조건을 찾을 수 있을 것으로 생각된다.

#### 참고 문헌

- [1] C. Srinivasa-Murthy, D. Wang, S.P. Beaudoin, T. Bibby, K. Holland, T.S. Cale, "Stress distribution in chemical mechanical polishing", *Thin Solid Films*, Vol. 308-309, p. 533-537, 1997.
- [2] 김형재, "CMP 공정에서 재료 제거 기구에 영향을 미치는 접촉 계면 특성에 관한 연구", Ph. D Thesis, P. N. U., 2003.
- [3] Yuling Liu, Kailiang Zhang, Fang Wang and Weiguo Di, "Investigation on the final polishing slurry and technique of silicon substrate in ULSI", *Microelectronic Engineering*, Vol. 66, p. 438-444, 2003.
- [4] Weidan Li, Dong Wook Shin, Minoru Tomozawa and Shyam P. Murarka, "The effect of polishing pad treatments on the chemical-mechanical polishing of SiO<sub>2</sub> films", *Thin Solid Films*, Vol. 270, p. 601-606, 1999.
- [5] 정영석, 김형재, 정해도, "CMP공정에서 슬러리 유량의 변화가 연마율에 미치는 영향", *Proc. 2003 spring Conf. KSPE*, p. 42-49, 2003.
- [6] Robert L. Rhoades, Ph. D., "Oxide CMP using klebosol slurries", *IPEC-Planar PACRIM Chemical Mechanical Planarization Symposium Fall Session*, p. 51-93, October, 1997.
- [7] Hong Hocheng, Yun-Liang Huang and Lai-Juh Chen, "Kinematic Analysis and Measurement of Temperature Rise on a Pad in Chemical Mechanical Planarization", *J. of The electrochemical Society*, Vol. 146, No. 11, p. 4236-4239, 1999.
- [8] David White, Fason Melvin and Duane Boning, "Characterization and Modeling of Dynamic Thermal Behavior in CMP", *J. of The Electrochemical Society*, Vol. 150, No. 4, p. 271-278, 2003.