

# 산화막 CMP 공정에서 슬러리 온도 변화에 따른 연마 특성

## Polishing Properties by Change of Slurry Temperature in Oxide CMP

고필주<sup>1</sup>, 박성우<sup>2</sup>, 김남훈<sup>3</sup>, 서용진<sup>2</sup>, 이우선<sup>1,a</sup>

(Pil-Ju Ko<sup>1</sup>, Sung-Woo Park<sup>2</sup>, Nam-Hoon Kim<sup>3</sup>, Yong-Jin Seo<sup>2</sup>, and Woo-Sun Lee<sup>1,a</sup>)

### Abstract

To investigate the effects of slurry temperature on the chemical mechanical polishing(CMP) performance of oxide film with silica and ceria slurries, we have studied slurry properties as a function of different slurry temperature. Also, the effects of each input parameter of slurry on the oxide CMP characteristics were investigated. The pH showed a slight tendency of decrease, the conductivity in slurries showed an increased tendency, the mean particle size in slurry decreased, and the zeta potential of slurry decreased with temperature. The removal rates significantly increased and maintained at the specific levels over 40 °C. The better surface morphology of oxide films could be obtained at 40 °C of silica slurry and at 90 °C of ceria slurry. It is found that the CMP performance of oxide film could be significantly improved or controlled by change of slurry temperature.

**Key Words** : Chemical mechanical polishing(CMP), Slurry temperature, Silica slurry, Ceria slurry

### 1. 서론

CMP(chemical mechanical polishing) 공정은 반도체 제조공정에서 다층배선 구조의 평탄화를 위해 폭넓게 응용되고 있다[1-9]. CMP 연마 특성은 연마장비 및 연마패드, 탄성지지대, 슬러리 등의 소모재(consumable)들과 같은 공정변수들에 의해서 최적화 되어진다[10-12]. 이러한 CMP 공정의 소모재들 중에서 특히 슬러리는 CMP 공정의 연마율(removal rate)과 비균일도(WIWNУ ; within-wafer non uniformity) 등에 중요한 역할을 한다 [13]. 슬러리의 다양한 특성들 중 슬러리 조성, pH(potential of hydrogen), 연마재(abrasive)의 크기 및 경도(hardness), 연마재의 분산 안정성, 점도

(viscosity) 등은 재료의 연마에 영향을 미치는 주요 요소들이다[14]. 이들 중 연마 온도는 재료의 제거에 영향을 미치는 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 연마 온도가 연마 특성에 미치는 영향에 대해서 연구하는 방법은 연마 패드와 슬러리 모두를 적정 온도로 조절하는 방법과 연마 패드의 온도를 고정한 후에 슬러리의 온도만을 조절하는 방법이 있다[15]. 슬러리의 온도 변화가 연마 특성에 미치는 영향을 고찰하기 위한 본 연구에서는 헤드 속도, 테이블 속도 및 헤드 압력(down force) 등을 동일하게 하고 슬러리 온도만을 변화시키며 실험을 하는 후자의 방법을 선택하였다. 일반적으로 재료의 제거는 온도와 밀접한 관계가 있다고 알려져 있으나, 온도에 의한 슬러리의 특성 및 연마 특성에 관한 심도 있는 보고는 많지 않고 그러한 보고 또한 일관성이 없다[14-17]. 본 연구에서는 슬러리의 온도 변화에 따른 산화막의 연마 특성 및 실리카(silica) 및 세리아(ceria) 슬러리의 수소이온농도(pH), 파티클 크기, 이온 전도율(conductivity), 제타 전위(zeta potential) 등의 특성 변화에 대해서 연구하였다. 또한 온도에 따른 이들 슬러리의 특성 변화와 산화막 연마 특성과의 상관관계에 대해서

1. 조선대학교 전기공학과  
(광주시 동구 서석동 375)  
2. 대불대학교 전기전자공학과  
3. 조선대학교 에너지자원기술연구소  
a. Corresponding Author : wslee@chosun.ac.kr  
접수일자 : 2005. 1. 27  
1차 심사 : 2005. 2. 15  
심사완료 : 2005. 2. 15

도 논의되었다. 따라서 이상과 같은 슬러리 온도 의존성의 정립은 초고집적회로(ULSI)의 다층 배선 기술에 있어서 산화막 CMP 공정의 최적화를 이루는 기반을 마련할 것이다.

## 2. 실험

본 실험에서는 PECVD 공정에 의해 1900 nm의 TEOS(tetra-ethyl ortho-silicate) 산화막이 증착된 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 모든 연마 공정은 G&P Technology사의 POLI-380 장비로 진행하였다[18]. 연마 패드는 Rodel 사의 IC-1300과 Suba IV를 PSA II로 접착시킨 이중패드를 사용하였다[18]. 공정 조건은 DOE(design of experiments) 방법을 사용하여 최적 조건을 산출하였으며[19], 표 1에 보인 바와 같이 테이블 속도는 40 rpm, 헤드 속도는 60 rpm, 헤드 압력은 300 gf/cm<sup>2</sup>, 슬러리의 유속은 90 ml/min으로 설정하여 60초 동안 연마를 진행하였다[19]. 또한 패드 컨디셔닝 압력은 2 kgf/cm<sup>2</sup>으로 고정하였고, 연마 패드는 교체 없이 사용하였다. 슬러리는 SiO<sub>2</sub>-based slurry(실리카 슬러리)와 CeO<sub>2</sub>-based slurry(세리아 슬러리)가 사용되었다. 상온에서의 슬러리 온도는 25 °C이다. 연마 실험은 전열기(hot plate)와 냉각장치(chiller)를 이용하여 슬러리의 온도를 10 °C에서 90 °C까지 10 °C 간격으로 증가시켜가며 실험하였다. 실험 중의 모든 온도는 IR(infrared rays) 온도계를 이용하여 측정하였다. 슬러리의 에이징 현상을 방지하기 위하여 연마 전에 Sonic Tech사의 초음파 교반기로 충분히 교반시켜 주었다. CMP 공정 후 웨이퍼 세정은 3분 동안 NH<sub>4</sub>OH:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O를 1:2:7의 비율로 제조된 SC-1 용액에서 3분간, 1:10의 DHF 용액에서 2분, 마지막으로 초음파 세척기를 이용하여 4분 동안 세척하였다.

표 1. CMP 공정조건.

Table 1. Process conditions of CMP.

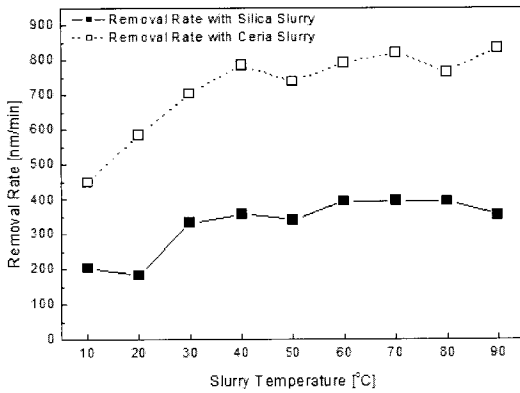
CMP parameter	CMP condition
wafer	blanket wafer
pad	IC1300 <sup>TM</sup> /SubaIV <sup>TM</sup>
slurry	silica/ccria slurry
slurry flow rate	90 ml/min
head speed	60 rpm
table speed	40 rpm
polishing time	60 sec

파티클 크기, 이온 전도율, 제타 전위 등은 자동 온도 조절 측정이 가능한 Nano ZS (Malvern Instruments Ltd.) 장비로 측정하였다. 연마율을 계산할 때 측정에 따른 오차를 방지하기 위해 J. A. Woollam사의 M-2000V 엘립소미터(spectroscopic ellipsometer)를 이용하여 각 웨이퍼마다 중앙에서 가장자리까지 시계 방향으로 9점의 동일한 지점들을 측정하였다. CMP 전후의 표면 형상은 PSIA사의 XE-200 AFM장비를 통하여 측정하였다.

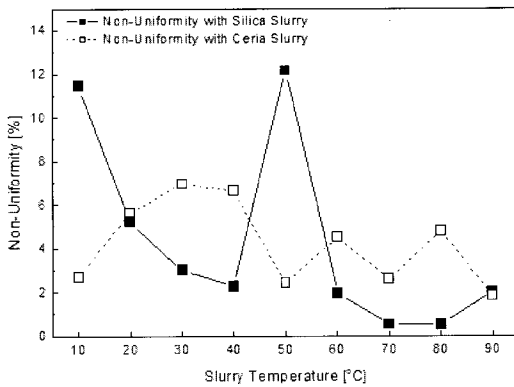
## 3. 결과 및 고찰

그림 1의 (a)는 실리카 슬러리 및 세리아 슬러리 각각의 온도 변화에 따른 산화막의 연마율을 나타낸 것으로, 슬러리 온도 조건은 10 °C에서 90 °C까지 10 °C간격으로 조정하였다. 처음의 두 조건(10 °C와 20 °C)은 냉각기를 이용하여 상온에서의 슬러리 온도 이하의 조건을 유지시킨 것이고, 100 °C 근처에서는 각각의 슬러리는 모두 졸(sol) 상태가 되어서 슬러리로서의 효용성은 떨어졌으나 슬러리의 온도 의존성을 조사하기 위해 연마는 계속 진행하였다. 10 °C와 20 °C의 낮은 온도를 갖는 실리카 슬러리에서는 각각 203.8 nm/min 및 183.0 nm/min의 연마율을 보였으나, 이후에 온도가 상승함에 따라서 향상된 연마율을 얻을 수 있었다. 한편, 세리아 슬러리를 사용한 산화막의 연마 실험에서는 40 °C까지는 연마율이 상승하는 경향을 보이다가, 이후부터는 큰 변화를 보이지 않았다. 처음 10 °C에서의 연마율은 448.5 nm/min을 보이다가 40 °C에서는 785.6 nm/min으로 급격하게 상승하였다. 즉, 실리카 슬러리와 세리아 슬러리는 상승한 온도 조건에서 일반적인 공정 온도 조건에서보다 약 1.5배에서 2배 정도의 향상된 연마율을 확보할 수 있었다. 실험 결과에서 세리아 슬러리를 사용한 산화막의 연마율이 실리카 슬러리를 사용한 산화막의 연마율보다 모든 온도 조건에서 우수하였다.

그림 1의 (b)는 실리카와 세리아 슬러리의 온도 변화에 따른 산화막의 비균일도를 나타낸 것이다. 일반적으로 CMP의 공정 대상이 산화막과 같은 절연막일 경우 비균일도가 5 % 이하가 되어야 한다. 슬러리 온도변화에 따른 세리아 슬러리는 10 °C에서는 5 % 이하의 안정된 균일도를 나타내고 있지만, 20 °C와 40 °C 사이는 6~7 %의 비교적 안정되지 않은 비균일도 특성을 보이다가 온도가 50 °C~90 °C에서는 다시 5 % 이하의 안정된 비균일



(a)



(b)

그림 1. 실리카 슬러리와 세리아 슬러리의 온도 변화에 따른 (a) 산화막 연마율 및 (b) 비균일도.

Fig. 1. Comparison of (a) oxide removal rates and (b) non-uniformities with an increase of temperature in silica and ceria slurries.

도 특성을 보이는 것을 알 수 있다. 상온 25 °C에 가까운 온도에서 안정되지 않은 비균일도 특성을 보이고 있다. 한편 실리카 슬러리에서는 10 °C와 50 °C에 5 % 이상의 불안정한 비균일도 특성을 나타내고 있다. 반면에 20 °C~40 °C와 60 °C~90 °C에서는 5 % 이하의 안정된 비균일도 특성을 보였다.

그림 2는 실리카 슬러리와 세리아 슬러리의 온

도를 변화시키며 CMP한 산화막의 AFM 3차원 형상으로  $5 \times 5 \mu\text{m}$  표면을 스캔하여 나타낸 것이다. 그림 2(a)는 산화막의 CMP 전의 AFM 형상으로서 침탐형 힐락(hillock)들이 표면에 불규칙적으로 존재함을 확인할 수 있다. 그림 2의 (b)와 (c)는 각각 상온의 공정 온도보다 낮은 10 °C의 실리카 슬러리와 세리아 슬러리에서 CMP 실시한 후의 표면 형상으로 증착 직후의 산화막 표면보다 오히려 저하된 표면 특성을 나타내었다. 한편, 실리카 슬러리 및 세리아 슬러리를 각각 가열하여 상온 공정 온도보다 높은 40 °C 및 50 °C의 실험 조건에서 산화막을 CMP하였을 경우 양쪽 슬러리 모두에서 향상된 표면 특성을 얻을 수 있었다. 그림 2(d)에서처럼 40 °C의 실리카 슬러리로 연마한 산화막에서는 증착 직후의 불규칙적인 침탐 모양의 표면이 상당히 부드러워졌음을 확인할 수 있다. 40 °C~50 °C의 실리카 슬러리로 연마한 표면에서는 일부 크랙(crack)과 다수의 힐락들이 발견되는데, 이러한 이유로 그림 1(b)에서와 같은 비균일도의 이상 현상이 있었을 것으로 사료된다. 그림 2(e)는 50 °C의 세리아 슬러리를 이용하여 산화막을 연마한 후의 향상된 표면 형상이다. 연마 전의 불규칙적이고 거친 표면들이 상대적으로 낮고 뭉툭해졌음을 볼 수 있다. 그림 2(f)는 90 °C의 세리아 슬러리로 연마한 산화막 표면의 AFM 형상이다. 소수의 힐락 덩어리들이 존재함에도 불구하고, 대단히 우수한 평탄도를 확보할 수 있었다. 결과적으로 표면 형상 측면에서도 일반적인 공정 온도 조건 이상의 모든 온도 조건에서 세리아 슬러리를 사용하여 연마할 경우에 같은 온도의 실리카 슬러리를 사용한 경우보다 우수한 표면 특성을 얻을 수 있었고, 세리아 슬러리를 사용하여 90 °C 온도 조건에서 산화막의 연마하였을 경우에 가장 우수한 연마율 및 표면 평탄도를 확보할 수 있었다. 또한 동일한 슬러리를 사용하여 연마 공정을 실시할 경우라도 슬러리의 온도 변화에 따라서 산화막의 연마 특성이 변화함을 확인할 수 있으며, 이를 이용하여 연마율 및 평탄도의 조절이 가능할 것으로 보인다. 한편, 그림 2(d)와 (f)에서의 표면 힐락들은 슬러리와 산화막 표면의 화학 반응에 의한 부산물이거나 또는 CMP 공정 후의 슬러리 잔류물일 것으로 사료된다. 이에 대한 성분 분석이나 제거 방법에 대해서는 후속 연구에서 분석해 볼 필요성이 있다.

슬러리 온도 변화에 따른 산화막의 연마율 및 표면 형상 등의 연마 특성이 변화한 이유를 조사하기 위해서 온도 변화에 따른 각 슬러리들의 특

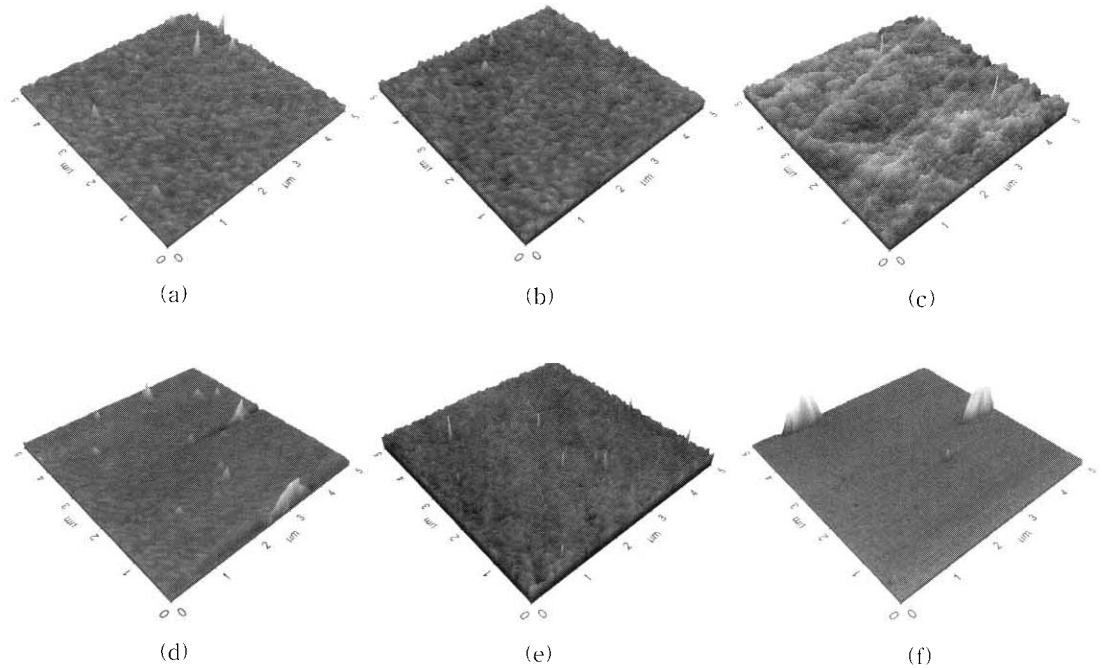


그림 2. 슬러리 온도 변화에 따른 AFM 표면 형상; (a) 증착 직후, (b) 10 °C 실리카 슬러리 연마 후, (c) 10 °C 세리아 슬러리 연마 후, (d) 40 °C 실리카 슬러리 연마 후, (e) 50 °C 세리아 슬러리 연마 후, (f) 90 °C 세리아 슬러리 연마 후.

Fig. 2. Surface morphology of (a) as-deposited film, (b) polished film with silica slurry at 10 °C, (c) ceria slurry at 10 °C, (d) silica slurry at 40 °C, (e) ceria slurry at 50 °C, and (f) ceria slurry at 90 °C measured by AFM.

성을 분석하였다. 그림 3은 온도 변화에 따른 실리카 슬러리와 세리아 슬러리의 pH의 거동을 조사한 그래프이다. 실리카 슬러리와 세리아 슬러리에서 모두 슬러리의 온도가 증가함에 따라서 pH가 완만하게 감소하는 경향성을 나타내었다. 실리카 슬러리는 20 °C에서 10.60의 pH값을 나타내다가 90 °C에서는 9.63으로 다소 감소하는 결과를 나타내었다. 세리아 슬러리는 20 °C에서 7.77의 pH값을 나타내다가 90 °C에는 6.50으로 감소하는 비슷한 경향을 보였다. Cook의 모델에 의하면 pH가 증가함에 따라 연마율도 증가한다고 알려져 있다[20]. 또한 실리카 슬러리를 사용한 산화막 CMP에서 pH의 증가에 따라서 연마율이 급격히 증가하였다는 보고도 있다[21]. 하지만, 본 연구에서는 슬러리 온도가 증가함에 따라서 pH는 완만하게 감소하였고, 동시에 연마율은 증가하는 경향성을 보였다. 이러한 결과는 슬러리의 온도 변화에 따라서 pH 특성

보다 산화막의 연마율 및 표면 형상에 더욱 영향을 미치는 다른 요소가 있을 것이라는 반추할 수 있다.

그림 4에서 온도 변화에 따른 슬러리의 이온 전도율(conductivity)을 나타내었다. 일반적으로 측정된 pH는 슬러리 내에 존재하는 수소 이온(H<sup>+</sup>) 및 수산화 이온(OH<sup>-</sup>)의 양을 측정하기 때문에 측정된 이온 전도율은 앞에서 언급한 이온들과 다른 용해된 이온들의 결합의 결과로 나타난다[22]. 실리카 슬러리에서의 온도가 10 °C에서 90 °C로 변화할 때에 그림 3에서 같은 온도 구간에서의 pH가 완만하게 감소하는 동안에 전도율은 약 1.88 % 증가하였다. 세리아 슬러리의 경우에도 같은 온도 조건에서 전도율은 약 1.01 % 정도로 완만하게 상승한다. Castellan은 온도가 상승하면 이온 전도율도 증가한다고 보고하였다[23]. 단위 온도 증가마다 수소 이온은 약 14 %, 수산화 이온은 약 16 % 정도

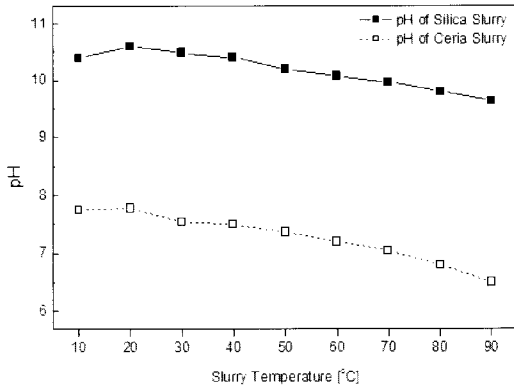


그림 3. 온도 변화에 따른 실리카 슬러리 및 세리아 슬러리의 pH 변화.

Fig. 3. Changes of pH as a function of temperature in silica and ceria slurries.

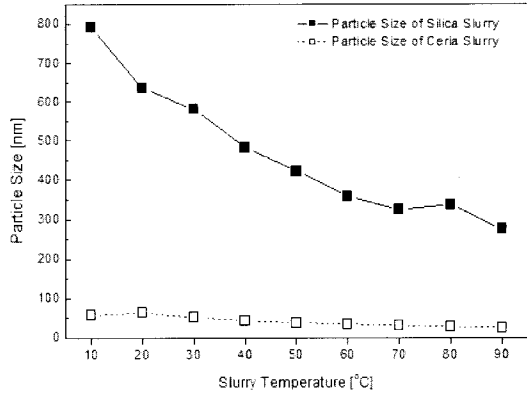


그림 5. 온도 변화에 따른 실리카 슬러리 및 세리아 슬러리의 입도 변화.

Fig. 5. Mean particle size in silica and ceria slurries with a change of temperature.

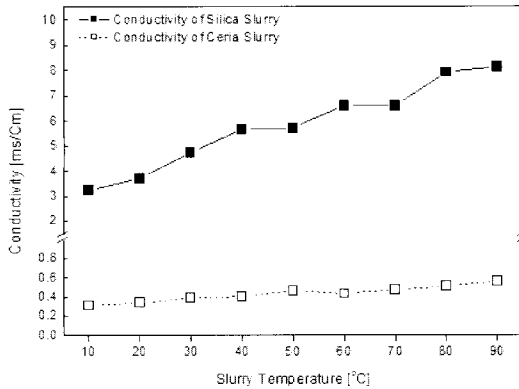


그림 4. 온도 변화에 따른 실리카 슬러리 및 세리아 슬러리의 전도율 변화.

Fig. 4. Conductivities of silica and ceria slurries as a function of temperature.

로 전도율이 증가하는 등 온도에 굉장히 많은 영향을 받는 것에 비해서, 수소 이온과 수산화 이온을 제외한 다른 이온들은 평균적으로 온도 증가에 따라서 약 2 % 내외로 전도율이 증가한다고 알려져 있다[22]. 따라서, 이러한 결과들은 결국 온도의 증가에 따라서 슬러리 내의 Si 이온 및 Ce 이온 등의 용해되는 양이 증가함을 의미한다.

그림 5는 슬러리 온도 변화에 따른 실리카 슬러

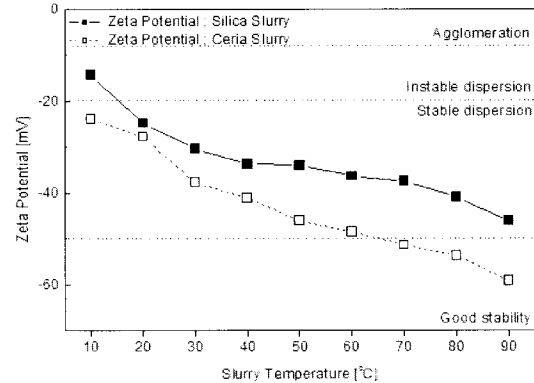


그림 6. 온도 변화에 따른 실리카 슬러리 및 세리아 슬러리의 제타 전위 변화.

Fig. 6. Zeta potentials of silica and ceria slurries with a change of temperature.

리와 세리아 슬러리의 평균 입도를 나타낸 그림이다. 일반적으로 슬러리 입자의 크기는 CMP의 연마율 및 표면 특성과 관계가 있다고 알려져 있다[21, 24]. 실리카 슬러리의 경우에는 그림 1에서 온도 증가에 따라서 연마율이 증가했음에도 불구하고, 평균 입도는 감소하고 있다. 세리아 슬러리의 입도는 약간의 감소가 있지만 온도에 따라서 큰 변화는 없다. 다만, 입도가 작아짐에 따라서 평탄

도가 향상되고 산화막 표면에 나타날 수 있는 미세 스크래치(micro-scratch) 등은 감소한다. 이는 그림 2의 실제 AFM 결과에서 확인할 수 있다.

그림 6은 실리카 슬러리와 세리아 슬러리의 온도 변화에 따른 제타 전위를 나타낸다. 실리카 슬러리의 제타전위는 mV 단위로 측정되었으며, 슬러리 온도 조건 10 °C와 90 °C 사이에서 음성을 나타내며 -14.2 mV와 -46.1 mV 사이에 존재한다. 10 °C를 제외한 모든 조건에서 안정적인 분산 상태를 얻을 수 있었다[25]. 세리아 슬러리의 제타 전위는 동일한 온도 변화에서 -23.75 mV에서 -59.21 mV으로 감소한다. 연마재 입자의 분산 능력은 슬러리의 온도가 증가함에 따라서 향상되었다. 제타 전위의 절대값은 실리카 슬러리 및 세리아 슬러리 모두 90 °C 온도 조건에서 가장 높았다(즉, 가장 음성이었다). 이러한 결과는 이 온도조건에서 양의 이온들이 연마재 입자들에 흡착하는 양이 적음을 의미하며, 그림 5의 결과와 일치한다[22].

#### 4. 결 론

본 논문에서는 실리카 슬러리와 세리아 슬러리의 온도 변화에 따른 산화막의 연마특성에 관하여 연구하였다. 연마율, 비균일도 및 표면 특성 등은 동일한 슬러리 내에서도 온도에 의해 영향을 받는 것을 나타냈다. 산화막 연마에 영향을 미친 슬러리 특성을 분석한 결과는 다음과 같았다. 두가지 슬러리 모두에서 온도에 따른 pH는 경미한 감소 경향성을 보였다. 이온 전도율은 슬러리 온도 10 °C ~ 90 °C 사이에서 1~2 %의 증가를 보여주었다. 입도 분석 결과에서 실리카 슬러리는 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었고, 세리아 슬러리는 대단히 미소한 감소 경향을 보였다. 제타 전위의 측정 결과, 연마재 입자의 분산 능력은 온도 증가와 함께 향상되었다. 온도가 증가함에 따라서 슬러리 특성들은 대체적으로 연마율이 감소하는 경향성을 나타내에도 불구하고, 연마율은 40 °C까지 큰 폭으로 증가한 후에 특정 수준을 유지하였다. 일반적인 CMP 공정 온도 조건에서보다 슬러리의 온도를 증가시킴으로써 약 1.5~2배가량의 향상된 연마율을 확보할 수 있었다. 이러한 결과를 통해서 슬러리 온도 증가에 따라서 연마율 향상의 원인이 슬러리의 화학적 특성의 연구에서만은 완벽히 설명할 수 없었고, 향후 연구에서 슬러리 온도 증가에 따른 패드 등의 기계적인 특성 변화를 연구할 필요성이 있다. 한편, 산화막 표면 특성 측면에서

는 실리카 슬러리의 경우에 40 °C 및 세리아 슬러리의 경우에 90 °C에서 대단히 우수한 표면 평탄도를 확보할 수 있었다. 이는 온도 증가에 따른 슬러리 연마재 입도 감소에 기인한 것으로 판단된다. 동일한 슬러리의 온도 조절을 통해서도 연마율과 표면 특성을 향상시킬 수 있었으며, 재현성 실험을 통해서 이를 제어할 수도 있음을 확인하였다.

#### 감사의 글

이 논문은 2004년도 학술진흥재단의 중점 연구소 지원에 의해서 연구되었음(KRF-2004-005-D00007).

#### 참고 문헌

- [1] Woo-Sun Lee, Sang-Young Kim, Youg-Jin Seo, and Jong-Kook Lee, "An optimization of tungsten plug chemical mechanical polishing(CMP) using different consumables", Journal of Materials Science : Materials in Electronics, Vol. 12, No. 1, p. 63, 2001.
- [2] Yong-Jin Seo and Sang-Yong Kim, "Effects of various facility factors on chemical mechanical polishing process defects", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 41, No. 11A, p. 6310, 2002.
- [3] Yong-Jin Seo, Woo-Sun Lee, Sang-Yong Kim, Jin-Sung Park, and Eui-Goo Chang, "Optimization of post-CMP cleaning process for elimination of CMP slurry induced metallic contaminations", Journal of Materials Science : Materials in Electronics, Vol. 12, No. 7, p. 411, 2001.
- [4] Yong-Jin Seo, Woo-Sun Lee, Jin-Seong Park, and Sang-Yong Kim, "Motor-current-based real-time end point detection of shallow-trench-isolation chemical mechanical polishing process using high-selectivity slurry", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 42, No. 10, p. 6396, 2003.
- [5] 이우선, 최권우, 김남훈, 박진성, 서용진, "가스센서 적용을 위한 SnO<sub>2</sub> 박막의 CMP 특성 연구", 전기전자재료학회논문지, 17권, 12호, p. 1296, 2004.

- [6] 이우선, 고필주, 김남훈, 서용진, "산화제 첨가에 따른  $WO_3$  박막의 CMP 평탄화 특성", 전기전자재료학회 논문지, 18권, 1호, p. 12, 2005.
- [7] 서용진, 정현상, 김상용, 이우선, 이강현, 장의구, "STI-CMP 공정에서 torn oxide 결함 해결에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 14권, 1호, p. 1, 2001.
- [8] 김상용, 서용진, 김태형, 이우선, 김창일, 장의구, "Chemical mechanical polishing(CMP) 공정을 이용한 multilevel metal 구조의 광역평탄화에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 11권, 12호, p. 1084, 1998.
- [9] 이우선, 최권우, 이영식, 최연옥, 오용택, 서용진 "팅스텐 슬러리를 사용한 Cu-CMP 특성에서 산화제 첨가의 영향", 전기전자재료학회논문지, 17권, 2호, p. 156, 2004.
- [10] I. Kim, K. Murella, and J. Schlueter, "A detailed look at oxide CMP pad-to-pad consistency", Proceedings of the 2nd International CMP-MIC Conference, p. 335, 1997.
- [11] I. Ali and S. R. Roy, "Pad conditioning in interlayer dielectric CMP", Solid State Technology, Vol. 40, Iss. 6, p. 185, 1997.
- [12] Yong-Jin Seo, Sang-Yong Kim, Yeon-Ok Choi, Yong-Taek Oh, and Woo-Sun Lee, "Effects of slurry filter size on the chemical mechanical polishing(CMP) defect density", Materials Letters, Vol. 58, Iss. 15, p. 2091, 2004.
- [13] G. B. Basim, J. J. Adler, U. Mahajan, R. K. Singh, and B. M. Moudgil, "Effect of particle size of chemical mechanical polishing slurries for enhanced polishing with minimal defects", J. Electrochem. Soc., Vol. 147, Iss. 9, p. 3523, 2000.
- [14] J. M. Steigerwald, S. P. Murarka, and R. J. Gutman, "Chemical Mechanical Planarization of Microelectronic Materials", John Wiley & Sons, p. 40, 1997.
- [15] Weidan Li, Dong Wook Shin, Minoru Tomozawa, and Shyam p. Murarka, "The effect of the polishing pad treatments on the chemical-mechanical polishing of  $SiO_2$  films" Thin Solid Films, Vol. 270, Iss. 1-2, p. 601, 1995.
- [16] H. J. Kim, H. Y. Kim, H. D. Jeong, E. S. Lee, and Y. J. Shin, "Friction and thermal phenomena in chemical mechanical polishing", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 130-131, p. 334, 2002.
- [17] I. J. Malik, T. Mallon, B. Withers, R. Emami, D. Mordo, and I. Goswami, "CMP of FSG : Issue in process integration", Proceedings of the 2nd International CMP-MIC Conference, p. 209, 1997.
- [18] Yong-Jin Seo and Woo-Sun Lee, "Chemical mechanical polishing of  $Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO_3$  film prepared by sol-gel method", Microelectronic Engineering, Vol. 75, Iss. 2, p. 149, 2004.
- [19] Sung-Woo Park, Chul-Bok Kim, Sang-Yong Kim, and Yong-Jin Seo, "Design of experimental optimization for ULSI CMP process applications", Microelectronic Engineering, Vol. 66, Iss. 1-4, p. 488, 2003.
- [20] J. M. Steigerwald, S. P. Murarka, and R. J. Gutman, "Chemical Mechanical Planarization of Microelectronic Materials", John Wiley & Sons, p. 150, 1997.
- [21] R. Jairath, M. Desai, M. Stell, R. Tolles, and D. Scherber-Brewer, "Consumables for the chemical mechanical polishing(CMP) of dielectrics and conductors", Mat. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 337, p. 121, 1994.
- [22] H. Hodne and A. Saasen, "The effect of the cement zeta potential and slurry conductivity on the consistency of oil-well cement slurries", Cement and Concrete Research, Vol. 30, Iss. 11, p. 1767, 2000.
- [23] G. W. Castellan, "Physical Chemistry", Benjamin/Cummings Publishing, p. 783, 1983.
- [24] M. R. Oliver, "Chemical-mechanical Planarization of Semiconductor Materials", Springer-Verlag, p. 239, 2004.
- [25] S. Vallar, D. Houivet, J. El Fallah, D. Kervadec, and J.-M. Haussonne, "Oxide slurries stability and powders dispersion: optimization with zeta potential and rheological measurements", Journal of the European Ceramic Society, Vol. 19, Iss. 6-7, p. 1017, 1999.