

## STI CMP용 가공종점 검출기술에서 나노 세리아 슬러리 특성이 미치는 영향

김성준<sup>†\*</sup> · KatoH Takeo\* · 강현구\* · 김민석\* · 백운규\*\* · 박재근\*

<sup>†\*</sup>한양대학교 나노 SOI 공정 연구실

\*\*한양대학교 세라믹학과

### Effect of the Nano Ceria Slurry Characteristics on end Point Detection Technology for STI CMP

Sung Jun Kim<sup>†\*</sup>, Takeo KAToh\*, Hyun Goo KAng\*, Min Seok Kim\*,  
Un Gyu Paik\*\*, and Jea Gun Park\*

<sup>†\*</sup>Nani-SOI Process Lab. Hanyang University

\*\*Department of Ceramic Engineering, Hanyang University

#### ABSTRACT

Through shallow trench isolation (STI) chemical mechanical polishing (CMP) tests, we investigated the dependence of pad surface temperature on the abrasive and additive concentrations in ceria slurry under varying pressure using blanket film wafers. The pad surface temperature after CMP increased with the abrasive concentration and decreased with the additive concentration in slurries for the constant down pressure. A possible mechanism is that the additive adsorbed on the film surfaces during polishing decreases the friction coefficient, hence the pad surface temperature gets lower with increasing the additive concentration. This difference in temperature was more remarkable for the higher concentration of abrasives. In addition, in-situ measurement of spindle motor was carried out during oxide and nitride polishing. The averaged motor current for oxide film was higher than that for nitride film, meaning the higher friction coefficient.

**Key Words :** STI, CMP, Pad Temperature, Ceria slurry, Motor Current, End Point Detection

#### 1. 서 론

현재 256M DRAM급 이상, 메모리 소자의 선폭 디자인룰이 0.10  $\mu\text{m}$  이하로 줄어들면서 회로의 고집적화와 다층배선 구조가 필연적으로 적용 되어 왔다[1]. 특히 0.25  $\mu\text{m}$  이전의 기술에서는 사용되지 않던, 소자와 소자 사이를 분리시키는 STI(Shallow Trench Isolation) 공정은 실리콘 웨이퍼 위에 얇은 트랜치(Trench)를 만들고 그 위에 산화막  $\text{SiO}_2$ 를 도포한 후 CMP(Chemical Mechanical Polishing) 공정을 통해 수백 나노미터의 표면 토포그래피(Topography)를 완벽히 평탄화 시킬 수 있다[2]. 또한 STI CMP 공정에서는

과잉연마(dishing) 혹은 침식(erosion) 같은 표면 결함이 유발되지 않는 범주 내에서 산화막( $\text{SiO}_2$ )층과 질화막( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )층의 고 선택적 연마 선택비를 갖도록 해야 하며[3], 사용되는 세리아( $\text{CeO}_2$ ) 슬러리는 연마 시 재현성을 확보하는 것이 중요한 관건이 되고 있다. 또한 연마 소모재의 요소 중 하나인 연마판(pad)은 실제 연마 시 연마판 표면의 온도에 따른 연마속도의 재현성 확보에 중요한 역할을 한다. 이러한 연마판은 똑같은 연마 시간을 전체 웨이퍼에 적용하였을 경우 가압되는 압력이나 슬러리의 종류, 케미칼의 양에 따라 표면 온도의 차이를 유발할 수 있고, 이로 인해 CMP 공정시 웨이퍼 상에 증착되어 있는 막질의 두께 차이를 유발하게 됨으로 연마판 전면의 균일한 온도가 연마시 중요한 요소로 적용될 수 있다. 따라서 연마공정에서 in-

<sup>†</sup>E-mail : sungjun49@empal.com

situ로 연마판의 온도를 검출하여 최종 웨이퍼상에 증착된 막질의 두께를 자동 모니터링 할 수 있는 가공 종점 검출 장치(End Point Detection)의 개발이 활발히 진행되고 있는 실정이다[4]. 이 가공 종점 검출장치는 STI CMP 공정에서 산화막의 연마가 정확히 질화막의 표면까지만 가공 후 멈출 수 있도록 가공 종료 시기를 정확히 판단하여 준다. 실제로 STI CMP 공정 후 웨이퍼 내 나노 스케일 산화막 두께 산포를 최대  $\pm 2\%$  이하로 최소화 시켜야 하기 때문에 높은 정밀도의 CMP 용 가공종점검출 장치가 필요로 한 것이다. 그러나 이러한 가공종점 검출기술은 신호를 송(수신 하는 과정(컨디셔닝이나 CMP 장비의 축 진동, 연마판의 진동, 슬러리 공급 모터의 진동)에 문제가 있어서 연마시 재현성 있는 신호를 얻는 것이 매우 어려운 실정이다. 현재까지 연마 종점 검출기는 여러 가지 방법으로 제작되고 있는 실정인데, 가공장치와 독립적으로 광학 측정기에 의해서 막질의 차이에 따른 분광반사 스펙트럼 데이터의 차이를 측정하는 광학적 측정법, 웨이퍼상에 남아 있는 막질의 두께를 정전용량으로 측정하는 정전용량 계측법 등이 있다[4]. 현재 주로 사용되고 있는 토크 센서식 연마 계측법은 연마된 웨이퍼와 가공되는 막질 사이의 마찰계수 변화를 웨이퍼 캐리어와 테이블의 회전 토크 변화로써 검출한다[5].

본 연구에서는 자체적으로 개발된 높은 선택비를 갖는 고성능 나노 세리아 슬러리를 이용하여 첨가제와 연마입자의 농도를 달리하여 STI CMP 공정에 적용함으로써 웨이퍼 전면의 광역 평탄화와 in-situ로 연마판의 온도를 계측하여 자동 모니터링이 가능한 가공 종점 검출 장치 개발에 필요한 검출기술 확보와 슬러리 내의 연마입자의 농도 및 첨가제의 농도와 연마시간에 따른 패드의 온도 의존성에 관하여 연구하였다.

## 2. 실험방법

본 실험에서는 8인치 실리콘 웨이퍼를 사용하였으며, 산화막은 PETEOS와 질화막은 LPCVD 의해 증착된 것으로, 증착된 두께는 각각  $7000\text{\AA}$ ,  $1500\text{\AA}$ 이다. 그리고 CMP 장비는 6EC(Strasbaugh, U.S.A)를 사용하여 연마 공정을 진행하였으며, CMP 공정 조건을 Table 1에 나타내었다. 연마 시 사용된 세리아 슬러리는 출발 물질을 세륨카보네이트( $\text{Ce}_2(\text{CO}_3)_3$ )로 하여 하소공정을 통해 연마입자를 결정화 시킨 후 밀링 공정을 통해 입자 크기를 조절하였으며, 산화막과 질화막의 선택적 연마 조건을 만들기 위해 음이온 계면활성제(Poly-Acrylic Acid, Polyscience/Molecule Weight 50,000)를 첨가 하였다. 또

Table 1. CMP 공정 조건

Machine model	Strasbaugh 6EC
Slurry	self made Ceria Slurry
Pad	IC1000/Suba IV K-Groove
Table speed	70 rpm
Spindle speed	70 rpm
Down force	2, 3, 4, 5, 6 psi
Back pressure	0 psi
Time	30 sec
Flow rate	100 ml/min

한 슬러리 1 L를 기준으로 상용화되어 있는 분산제(Polymetha acrylate acid)를 0.1 wt% 첨가하여 DI(deionized water)와 전계 교반기를 이용하여 슬러리를 분산하였다. 이때 슬러리의 PH는 KOH를 이용하여 7.0~8.0로 유지하였다. 실험에서 최적의 조건과 연마판의 온도에 따른 연마 거동을 살펴보기 위해서 연마입자의 농도와 첨가제의 농도를 다르게 하면서 실험을 진행하였다. 연마판의 온도 계측을 위해 디지털 방식의 이중 멀티미터(Metex, Korea)와 동시에 자체 제작된 자동 온도 측정기(Cole Parmer, U.S.A)를 CMP 장비에 설치하여 실험 시 실시간 자동 온도 계측이 가능하도록 하였다.

웨이퍼 상에 증착된 산화막과 질화막의 두께 측정은 NanoSpec 180(Nanometrics, U.S.A)을 이용하여 CMP 전(후로 나누어서 측정하였다. 연마입자의 형상은 Transmission Electron Microscope(JEM-2010, JEOL, Japan)을 사용하여 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

본 연구에 앞서 자체적으로 고성능 나노 세리아 슬러리를 개발하였으며, 슬러리내에 있는 연마입자의 사진을 TEM으로 측정하여 Fig. 1과 같이 나타내었다. 결정 입자의 크기는 TEM image상에서 결정입자를 20개 선택하여 분석해 본 결과 약 40~60 nm 정도였으며, 다결정 입자의 크기는 Acoustosizer II를 이용하여 측정한 결과 약 200~400 nm 정도의 크기를 형성하고 있다.

세리아 연마입자는 일반적으로 육각판상형태의 이미지를 나타내며 결정구조는 형석형 구조로서 한 개 단결정이 여러개 붙어 있는 다결정 형태를 취하고 있는 것이 일반적이다. STI CMP 공정에 사용되는 세리아 슬러리는 다결정 형태의 입자들이 가압되는 압력에 의해서 여러 개로 부서지면서 미세한 입자가 되고 활성화된 비표면적이 커지기 때문에 겔보기 입경에서 추정



Fig. 1. 세리아 연마입자의 TEM 사진

치 이상의 큰 가공 속도를 발휘한다고 알려져 있다[6]. 본 실험에서는 고성능 나노 세리아 슬러리를 사용하여 연마입자의 농도와 첨가되는 첨가제의 농도를 달리 하면서 웨이퍼 상에 증착된 산화막의 막질을 연마하였다. STI CMP 공정에 사용되는 세리아 슬러리는 첨가되는 첨가제의 농도에 따라 연마판의 표면 온도를 변화시킬 뿐 아니라 연마시 제거율(removal rate)에도 많은 영향을 미치게 된다. Fig. 2는 웨이퍼 상에 7000Å의 PETEOS 산화막과 1500Å의 질화막이 증착된 패턴이 없는 블랑킷 웨이퍼를 사용하여 STI CMP 공정에 적용하였다. STI CMP 공정에서 산화막이 증착된 웨이퍼와 질화막이 증착된 웨이퍼 사이의 연마 선택비(removal selectivity)를 알아내기 위해 동일한 압력조건 하에서 실험하였으며, 연마시 첨가제의 농도에 따른 두께 산포 및 연마 선택비를 산출하고자, 첨가제의 농도를 0~0.8 wt%로 달리하면서 막 두께를 측정하였다. 그림에서 첨가제 농도에 따른 제거율의 변화를 보면 첨

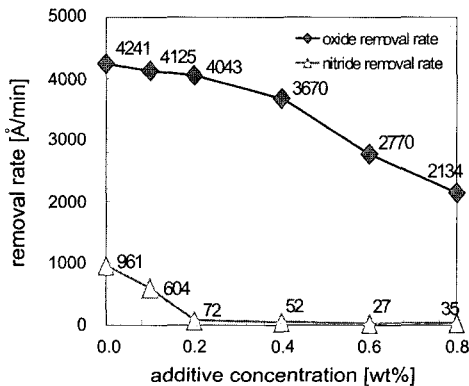
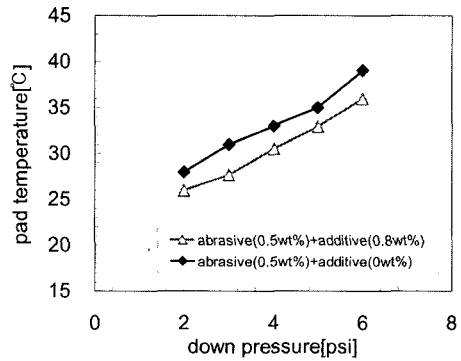
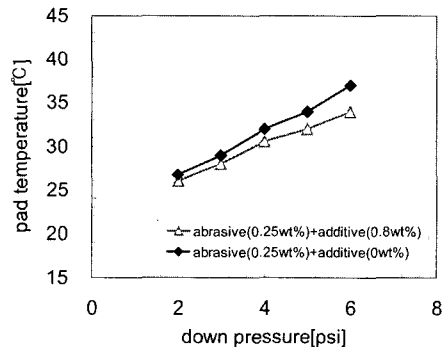


Fig. 2. 슬러리 내의 첨가제 농도에 따른 산화막대 질화막의 제거율

가제의 농도가 0~0.2wt%로 낮을 경우 연마 제거율이 분당 4241Å~4043Å로 완만한 감소를 보이다가, 첨가제의 농도가 0.2~0.8wt%로 증가된 경우 산화막의 제거율은 분당 4043Å~2134Å로 0.2 wt%이하의 연마 제거율보다 감소하는 경향을 나타내고 있는 것을 알 수 있었다. 한편 질화막의 경우는 0.2 wt%의 첨가제의 농도의 경우는 첨가제의 농도가 0~0.2 wt%로 낮을 경우 연마 제거율이 분당 961Å~72Å로 급격한 감소를 보이다가, 첨가제의 농도가 0.2~0.8 wt%로 증가됨에 따라서 제거율이 포화(saturation)되는 것을 알 수 있었다. 이것은 연마 선택비 측면에서 첨가제가 없을 경우 산화막 대 질화막의 연마 선택비가 4.4:1 정도로 연마 선택비가 낮지만 0.6 wt%의 첨가제 농도에서는 100:1 이상을 나타내는 것을 알 수 있었다. 연마입자의 농도와 첨가제의 농도를 변화시키면서 STI CMP 공정에 적용해 보았다. STI CMP후의 산화막과 질화막의 표면 상태를 Surfscan SPI(KLA Tenko, USA)로 측정해 본 결과 산화막 표면의 Haze level(DWM mode)은 0.332[ppm]이며 질화막 표면의 Haze level(DWM mode)은 0.015[ppm]이었다. 이를 통해 막질표면의



(a) 0.5wt% 연마입자 농도에 대한 첨가제 농도 변화



(b) 0.25wt% 연마입자 농도에 대한 첨가제 농도 변화  
Fig. 3. 일정한 연마입자 농도에 따른 첨가제의 농도 변화시 CMP 공정 중 압력 변화에 의한 연마판의 온도 변화

Roughness 상태는 양호하다는 것을 알 수 있었다.

웨이퍼 전면의 광역 평탄화를 in-situ로 연마판의 온도를 계측함으로써 자동 모니터링이 가능 하도록 메인 컴퓨터와 CMP 장비를 연결 하여 실험을 진행 하였다. 가공 종점 검출 장치 개발에 필요한 검출 기술과 공정 적용시 가압되는 하중(down pressure), 슬러리 내 연마입자의 농도 대비 첨가제의 농도와 연마시간에 따른 연마판의 온도 의존성에 관한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 (a)는 CMP 공정시 0.5 wt% 연마입자 농도에 첨가제의 농도를 변화시켜서 실험을 진행한 결과 연마판의 온도는 첨가제의 농도가 높을 경우 산화막에 첨가제들이 더 많이 흡착되어 첨가제가 포함되지 않은 경우보다 연마시 연마판의 온도가 더 낮은 것을 관측할 수 있었다. (b)의 경우 연마입자의 농도가 0.25 wt%로 낮을 경우 첨가제의 농도변화에 따른 CMP 장비의 압력 변화시 연마판의 온도 변화는 압력이 증가됨에 따라서 첨가제의 농도가 증가될수록 연마판의 온도가 더

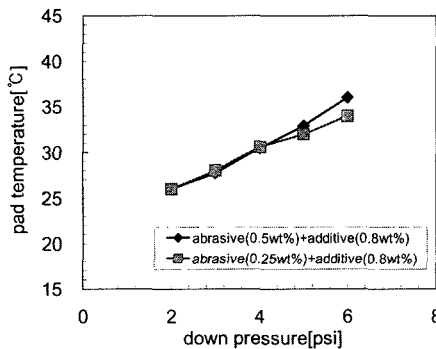
낮고, 온도 차이가 점점 증가되는 것을 알 수 있었다.

Fig. 4는 일정한 첨가제의 농도에 따른 연마입자의 농도 변화가 CMP 공정 중 압력 변화에 의해 연마판의 온도 변화에 미치는 영향을 관찰한 것이다. 그림에서 (a)는 0.8 wt% 첨가제 농도에서 연마입자의 농도 변화에 따른 연마판의 온도변화를 측정된 것으로 4psi 이하의 압력에서는 온도 변화가 미비하다가 4psi 이상의 압력에서는 연마입자의 농도가 높은 것이 연마판의 온도를 상승시키는 것을 알 수 있었다. 이것은 일정 압력 이하에서는 동일한 압력하에서 연마입자의 갯수가 연마판의 온도에 지배적인 역할을 하지 않지만 일정 이상의 압력에서는 압력대비 연마입자의 농도가 연마판의 온도 상승에 지배적인 역할을 하는 것으로 나타났다. 또한 첨가제가 첨가되지 않은 (b)의 경우 연마입자의 농도 변화에 따라서 CMP 장비의 압력 변화시 기계적인 힘의 영향으로 연마입자들이 연마판의 온도 변화는 연마입자의 농도가 높을 경우 연마판의 온도가 더 높은 것을 관측 할 수 있었다.

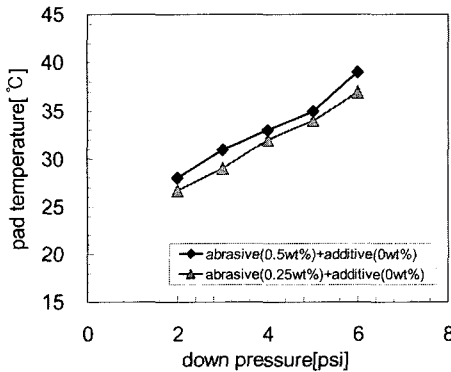
온도는 반응속도에서 중요한 역할을 하므로 실제 공정에서 표면 온도의 급격한 변화는 막질의 기계적 특성에 영향을 미치게 됨으로 미소한 온도변화에 따른 정밀도를 높이는 측정법을 개발하여 연마판의 온도변화를 최소로 조절하는 것이 관건이다.

이러한 온도 계측은 웨이퍼와 연마 패드 사이의 마찰로 발생된 열이나 연마 대상 재료사이에서 화학반응을 통해 반응열이 변화하게 되고 이러한 변화를 온도 변화로서 받아 들여, 웨이퍼 내의 온도변화를 측정하는 것이 가능하다.

일반적인 STI CMP공정은 연마입자가 산화막이나 질화막의 표면에 직접적으로 접촉하여 가해진 전단응력에 의해 웨이퍼 표면의 막질을 제거한다. 본 연구에서는 웨이퍼 상에 막질의 종류가 서로 다른 산화막과 질화막을 준비하여 연마시 연마 대상 재료의 차이로 인한 마찰계수의 차이로 인해 발생하는 반응열의 차이를 온도변화로 측정하였다. Fig. 5에서는 산화막과 질화 막의 연마시 압력 변화에 따른 연마판의 온도변화를 나타내었다. 앞서 설명한 압력 변화에 따른 연마입자 농도와 첨가제의 농도 변화와 같이 전체적으로 막질에 압력이 가해짐에 따라 온도가 증가되는 경향을 나타내었다. 그러나 연마시 산화막의 온도가 질화막의 온도보다 일정압력에서 높은 값을 나타내었는데, 이것은 막질의 표면과 첨가제 사이의 서로 다른 표면 전위차이에 의해서 첨가제들이 질화막의 표면에 더 많이 흡착되어 슬러리 내에 있는 연마입자들이 표면에 직접 접촉이 어려워지기 때문에 마찰 계수가 떨어진다고 생



(a) 0.8wt% 첨가제 농도에서 연마입자의 농도 변화에 따른 연마판의 온도변화



(b) 첨가제가 없을 경우 연마입자의 농도변화에 따른 연마판의 온도변화

Fig. 4. 일정한 첨가제의 농도에 따른 연마입자의 농도 변화가 CMP 공정 중 압력 변화에 의한 연마판의 온도 변화

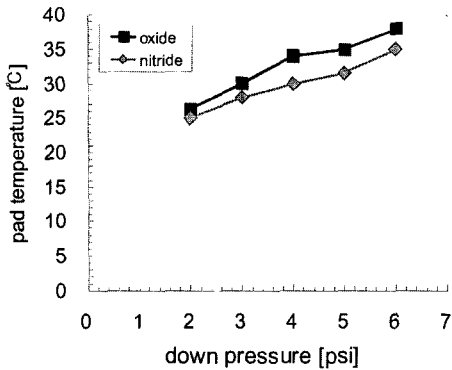


Fig. 5. 산화막과 질화 막의 연마시 압력 변화에 따른 연마 판의 온도변화

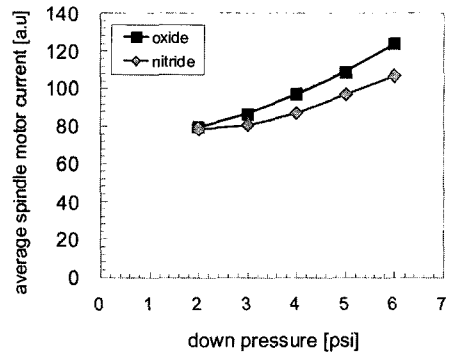


Fig. 7. 산화막과 질화막의 연마시 압력변화에 따른 평균 연마 헤드(spindle)모터 전류의 변화

각된다.

연마된 웨이퍼와 연마하는 중에 마찰 계수의 변화를 직접적으로 연마 헤드(spindle)의 회전 토크 변화로써 검출이 가능하다. 연마 헤드 회전시 변화되는 모터의 실시간 전류 신호 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 계측 시간 0초 이내에서는 연마시점 이전에 연마 헤드가 연마 판에 도착하기 직전의 상황이며, 1~30초까지는 연마가 실제 진행되는 시점에서 끝나는 시점을 나타내고 있다.

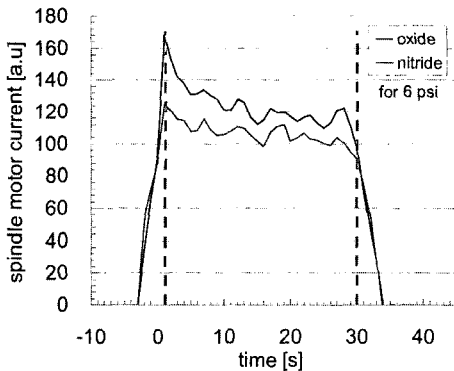


Fig. 6. 연마헤드(spindle) 회전시 시간에 따라 변화되는 모터의 전류 신호 변화

Fig. 7은 1~30초까지의 모터 전류 변화를 평균화 기법을 이용하여 산화막과 질화막의 연마시 압력변화에 따른 평균 연마 헤드 모터 전류의 변화를 나타내었다.

연마시 압력 변화에 따른 평균 전류 변화는 질화막이 산화막 연마 공정보다 모터 전류가 낮게 측정됨을 알 수 있었다.

이것은 실제 STI CMP 공정에서는 마찰계수의 비가 크게 달라지는 질화막의 표면에서 정지하는 것이 가능할 것이다

#### 4. 결 론

본 연구에서는 자체적으로 개발된 높은 선택비를 갖는 고성능 나노 세리아 슬러리를 이용하여 첨가제의 농도와 연마입자의 농도를 변화시키면서 CMP 공정에 적용하였다. 슬러리 내에 첨가되는 연마입자와 첨가제의 농도에 따라서 in-situ로 연마판의 온도를 계측하였고, 연마대상 재료를 변화시키면서 연마헤드의 모터 전류를 실시간으로 계측 하였다. CMP 공정시 첨가제의 농도에 따른 연마판의 온도를 측정해본 결과 연마입자 농도 대비 첨가제의 농도 변화는 첨가제의 농도가 높을 경우 연마시 연마판의 온도가 더 낮게 나타났다. 한편 일정한 첨가제의 농도에서 연마입자의 농도를 변화시킬 경우, 연마입자의 농도가 높을수록 연마판의 온도가 증가되는 것을 알 수 있었다. 그러나 첨가제가 첨가되지 않았을 경우 연마입자의 농도에 따른 변화는, 압력 변화에 따라 연마입자의 농도가 높을수록 연마판의 온도가 더 높게 나타났다.

웨이퍼 상에 산화막과 질화막을 증착하여 CMP 공정에 적용해 본 결과, 연마 대상 재료의 차이로 인한 마찰계수의 변화로 질화막의 온도가 산화막의 온도보다 일정압력에서 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다.

토크 방식 가공 중점 검출 장치의 개발을 위해 연마 헤드(spindle) 회전시 변화되는 모터의 전류 신호 변화를 측정해 본 결과 산화막과 질화막의 연마시 평균 연마 헤드(spindle)모터 전류의 변화는 질화막의 연마가 산화막 보다 평균화된 전류가 압력 변화에 따라 낮게 측정됨을 알 수 있었다. 앞으로 고성능, 저 가격인 가공중점 검출 시스템을 개발하여 양산화 된 설비에 적용한 후, 신뢰성 테스트를 통해, 국내 설비 제작 기술 수준을 국제적 기술 수준으로 향상시킬 수 있는 요소 기술을 확보 할 수 있을 것으로 기대 된다.

## 감사의 글

본 연구는 2003년도 중소기업청(산·학·연 공동기술 개발)의 지원에 의해 수행 되었습니다.

## 참고문헌

1. Park, J.G., "Development of Advanced Nano Ceria Slurry for STI-CMP Process of 256M or Larger Capacity DRAM," *Monthly Semiconductor*, Vol. 182, pp, 76-79 (2003).
2. Xu, C.S., Zhao, E., Jairath, R., and Krusell, W., "Effects of Silicon Front Surface Topography on Silicon Oxide Chemical Mechanical Planarization," *J. Electrochem & Solid-State Letters*, 1(4) pp, 181-183 (1998)
3. Nojo, H., Kodera, M. and Nakata, R., "Slurry engineering for self-stopping, dishing free SiO<sub>2</sub>-CMP," *Proc. IEEE idem*, San Francisco, CA, pp. 349 (1996).
4. Miyajima, M., Syosetsu Handoutai CMP Gijyutsu (Details of Semiconductor CMP Technology) ed. T. Doi (Kogyo-chosakai, Tokyo) pp. 124-131 (2000).
5. Kim, S.Y., Seo, Y.J., "A Study of End Point Detection Measurement for STI CMP Application," *Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*. Vol. 14, No. 3, pp. 175~184, (2001).
6. Hirai, K., Ohtsuki, H., Ashizawa, T., and Kurata, Y., *Hitachi Chemical Tech*, Report No. 35, pp. 17 (2000).