

< 기술논문 >

# Lithium Tantalate(LiTaO<sub>3</sub>) 웨이퍼의 CMP에 관한 연구

이현섭\* · 박범영\* · 서헌덕\* · 장원문\* · 정해도†  
(2005년 6월 1일 접수, 2005년 7월 19일 심사완료)

## A Study on the CMP of Lithium Tantalate Wafer

Hyunseop Lee, Boumyoung Park, Heondeok Seo, Onemoon Chang and Haedo Jeong

**Key Words:** CMP(화학기계적 연마), Compound Semiconductor(화합물반도체), Slurry(슬러리), Lithium Tantalate(리튬탄탈레이트), Friction Force(마찰력)

### Abstract

Compound semiconductors are the semiconductors composed of more than two chemical elements. Lithium Tantalate(LiTaO<sub>3</sub>) wafer is used for several optical devices, especially surface acoustic wave(SAW) device. Because of the lithography in SAW device process, LiTaO<sub>3</sub> polishing is needed. In this paper, the commercial slurries(NALCO2371<sup>TM</sup>, ILD1300<sup>TM</sup>, ceria slurry) used for chemical mechanical polishing(CMP) were tested, and the most suitable slurry was selected by measuring material removal rate and average centerline roughness(R<sub>a</sub>). From these result, it was proven that ILD1300<sup>TM</sup> was the most suitable slurry for LiTaO<sub>3</sub> wafer CMP due to the chemical reaction between solution in slurry and material.

### 1. 서론

화합물 반도체(compound semiconductor)란 2개 이상의 원소가 화학적인 결합을 하여 반도체 성질을 나타내는 물질을 화합물 반도체라 한다. 3족과 5족의 원소가 결합된 형태와 2족과 6족의 원소가 결합된 형태, 그리고 4족과 4족의 원소가 결합된 형태의 반도체를 말하며 초고속 소자 및 광전소자에 널리 응용되고 있다.<sup>(1)</sup>

화합물 반도체는 원소 반도체에 비해 전자 이동 속도가 크며, 발광 및 수광 기능을 지니고 있으며, 전기적 신호 처리 속도, 광자와의 상호 작용

등의 우수한 특성을 나타내고 있으나 결정 성장의 어려움과 화학적 불안정성 등의 문제가 있다. 그 중 Lithium Tantalate(LiTaO<sub>3</sub>) 단결정은 광통신이나 광계측 분야의 응용에 있어서 광파이버(optical fiber)와의 접속 적합성이 좋은 재료이고 광을 전기적으로 변환처리 하지 않고 광을 제어하는 광도파로<sup>(2)</sup>(optical wave guide), 광디바이스(optical device)에 이용할 수 있는 실용적인 광 응용 전자재료이다. 특히, 절연성이 높은 기판 위에 금속전극을 만들고 전압을 걸어, 일시적으로 기판(substrate)의 표면이 일그러지는 현상을 이용하여 물리적인 파를 일으키는 소자인 표면 탄성파 소자(surface acoustic wave device; SAW device)에 많이 이용되고 있다.<sup>(3)</sup> 표면 탄성파 소자는 일반적으로 Fig. 1과 같이, 압전성(piezo-electric)을 띄는 기판(crystal, LiTaO<sub>3</sub>, LiNbO<sub>3</sub> 등) 위에 알루미늄을 진공증착 시킨 후, 로광(lithography), 다이싱(dicing), 마운팅(mounting), 와이어 본딩(wire-

† 책임저자, 회원, 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소

E-mail : hdjeong@pusan.ac.kr

TEL : (051)510-3210 FAX : (051)518-8442

\* 부산대학교 정밀기계공학과

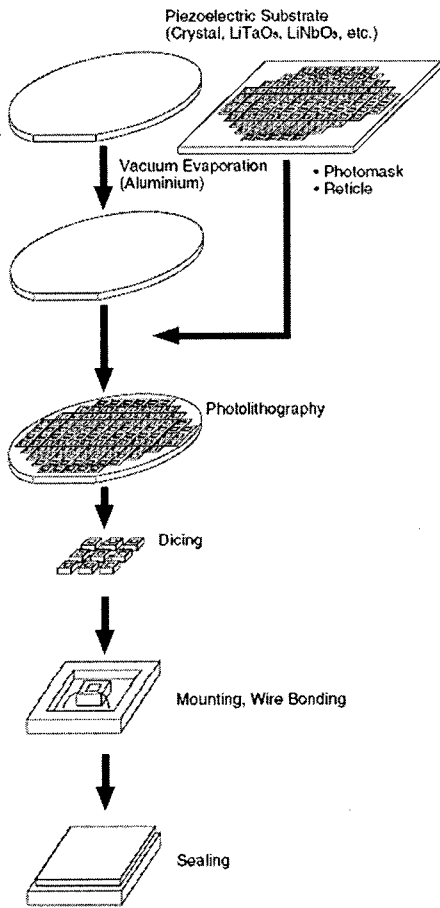


Fig. 1 surface acoustic wave(SAW) device process

bonding)후 실링(sealing) 공정을 거쳐서 만들어진다.

그 중 로광 공정에서 LiTaO<sub>3</sub> 웨이퍼의 표면 상태는 표면 탄성과 소자의 성능에 큰 영향을 미치기 때문에 광학용 소재로 쓰이는 LiTaO<sub>3</sub> 웨이퍼는 표면을 폴리싱(polishing)할 필요가 있다. 그러므로 본 논문에서는 범용으로 사용되고 있는 슬러리(slurry)를 이용하여 연마 제거율(removal rate)과 연마 후의 표면 거칠기(surface roughness)를 평가하여 LiTaO<sub>3</sub> 웨이퍼의 CMP(chemical mechanical polishing)에 가장 적당한 슬러리를 찾아내고자 한다.

## 2. 화학기계적 연마

1948년 트랜지스터가 발명된 이후, 진공관 시

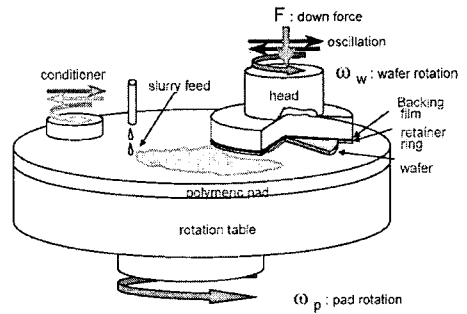


Fig. 2 Schematic of chemical mechanical polishing

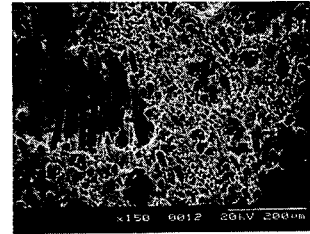


Fig. 3 The cross-section of Suba400™ pad

대를 거쳐서 반도체 기술은 직접회로(IC), 대규모 집적회로(LSI)에 이어서 VLSI와 ULSI의 등장으로 급속도로 발전해 왔다. 그러나 이렇게 고집적화, 고기능화 된 다층배선을 포함하려면 복잡한 3차원 구조가 필요하며, 새로운 디바이스 제조기술을 요구하게 되었다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 반도체 공정에 CMP가 도입되었다. Fig. 2와 같이 CMP는 기계적 제거가공과 화학적인 제거가공을 하나의 가공방법으로 혼합한 연마공정을 말하며 웨이퍼 제조에서부터 소자 및 배선 형성 공정에 이르기까지 광범위하게 적용되고 있다.<sup>(4)</sup>

CMP에 사용되는 슬러리는 연마할 재료에 따라서 달라진다. 실리콘 산화막(SiO<sub>2</sub>)에 사용되는 슬러리는 SiO<sub>2</sub>(silica) 혹은 CeO<sub>2</sub>(ceria) 입자를 사용하며 SiO<sub>2</sub> 슬러리는 알칼리 영역에서 주로 사용되고 CeO<sub>2</sub> 슬러리는 중성영역에서 사용된다. 반면, 금속막 CMP용 슬러리는 주로 산성영역에서 사용되고 그 입자로는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 혹은 colloidal silica가 사용된다.<sup>(5)</sup> 본 논문에서는 LiTaO<sub>3</sub>의 CMP를 위하여 상용으로 쓰이고 있는 산화막용 슬러리를 위하여 실험을 하였다.

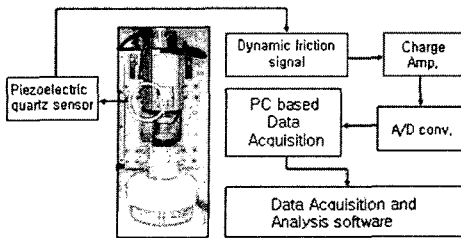


Fig. 4 Flow chart of CMP monitoring system

연마 패드(pad)는 크게 경질 폴리우레탄(foamed crosslinked polymer)이나 폴리우레탄이 함침 또는 코팅된 연질의 부직 폴리에스테르 펠트(non-woven polyester felt)가 주류를 이루고 있다. 경질 패드는 칩(chip) 내부에 대해서는 국소 평탄화(local planarization) 특성은 좋으나, 표면결함(surface defect) 등을 발생하는 단점이 있고, 연질 패드는 웨이퍼의 표면 품위특성은 좋으나, 패턴(pattern)의 대소조밀에 따른 연마 제거율의 편차를 발생시키는 단점이 있다.<sup>(6)</sup> 따라서 LiTaO<sub>3</sub>의 CMP를 위하여 본 논문에서는 웨이퍼의 표면 결함을 줄이기 위하여 연질패드인 Suba400™ (Fig. 3)을 사용하였다.

3. 실험장치 및 조건

실험은 G&P Technology사의 4-6인치 전용 CMP 장비인 G&P POLI400을 사용하였으며, CMP시 발생하는 마찰력을 측정할 수 있도록 piezoelectric quartz sensor를 Fig. 4와 같이 연마 헤드부에 설치하여 센서의 변위를 전압값으로 출력하고 이를 증폭·변환시켜 실시간으로 마찰 신호 값을 얻을 수 있도록 하였다. 측정 프로그램은 G&P CMP 모니터링 프로그램을 이용하였다.<sup>(1)</sup> 자세한 실험 조건은 Table 1에 나타내었다.

4. 실험방법 및 결과

LiTaO<sub>3</sub> 기판의 CMP를 위한 슬러리를 선정하기 위하여 Table 2에 나타난 3가지 종류의 슬러리 원액을 준비하였다. 실험은 각각 사용 용도에 맞는 조성을 가진 슬러리를 이용하여 실시하였다.

Table 1 Experimental condition

Pressure	900g/cm <sup>2</sup>
Velocity	Head and Table : 60 rpm
Pad	Suba400™
Slurry flow rate	150cc/min
Wafer	3inch LiTaO <sub>3</sub> wafer
Temperature	24℃
Conditioning	Brush(30sec)

Table 2 Selected slurry for experiment

Slurry	Abrasive	pH	Application
NALCO2371™	colloidal silica 28wt%	10.6	Si polishing
ILD1300™	fumed silica 13wt%	10.9	SiO <sub>2</sub> polishing
Ceria slurry	ceria 10wt%	7.1	SiO <sub>2</sub> polishing

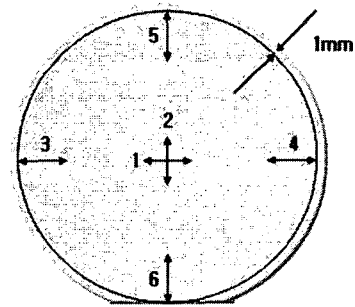


Fig. 5 Measurement of centerline average roughness

NALCO2371™ 슬러리는 DIW(de-ionized water)와 슬러리의 비를 15:1(입자함량 2wt%)로 희석하여 일반적인 실리콘 웨이퍼의 CMP와 같은 조건으로 실험을 하였다. Ceria slurry 또한 SiO<sub>2</sub> CMP에 이용하는 슬러리 조성(ceria slurry+additives+DIW, 입자함량 2wt%)을 사용하였으며, ILD1300™은 원액을 그대로 사용하였다.

우선, 각각 슬러리에 대한 LiTaO<sub>3</sub> 웨이퍼의 연마 제거율과 중심선 평균 거칠기(centerline average roughness; R<sub>a</sub>)를 평가하였다.

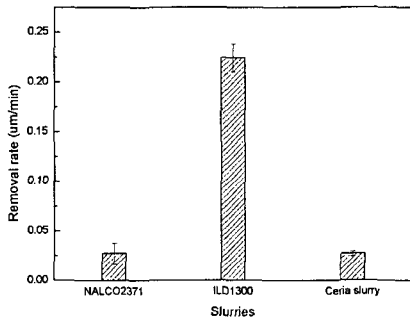


Fig. 6 Removal rate as a function of slurries

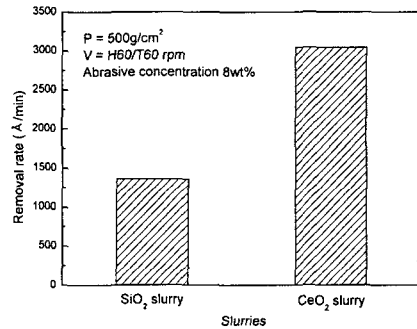
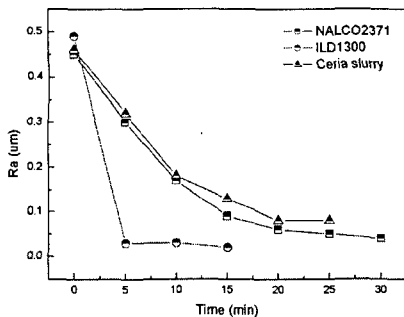
Fig. 8 Removal rate of SiO<sub>2</sub> and CeO<sub>2</sub> slurry at oxide CMP

Fig. 7 Centerline average roughness as a function of polishing time

중심선 평균 거칠기 측정에는 stylus를 이용하였으며, Fig. 5와 같은 방식으로 4mm씩 측정하여 평균값을 취하였다.

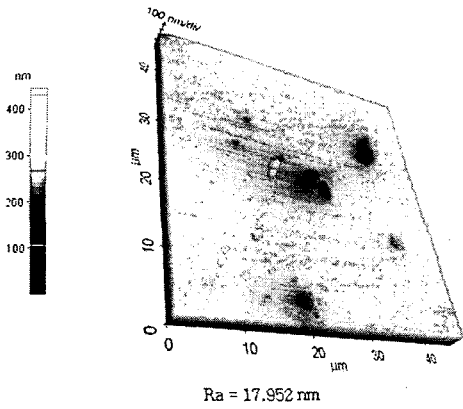
Fig. 6과 7에서 볼 수 있듯이, 상용 실리콘 산화막 CMP용 슬러리인 ILD1300<sup>TM</sup>이 연마 제거율과 중심선 평균 거칠기에서 가장 우수한 특성을 보임을 알 수 있다.

실리콘 웨이퍼 CMP용 슬러리인 NALCO2371<sup>TM</sup>의 연마 매카니즘에 관해서는 아직 명확히 알려진 바가 없지만, 실험 결과로 미루어보아 LiTaO<sub>3</sub>의 연마에는 적합하지 않은 매카니즘을 가지는 것으로 보인다. 반면, 산화막 CMP시 ILD1300<sup>TM</sup> 슬러리와 같은 silica 슬러리는 슬러리 내의 pH 조건과 NH<sub>4</sub>OH 내의 알칼리 성분인 수산화기(-OH)에 의해 산화막 자체가 수화(hydration)되어 연마입자에 의한 마찰에 의해 물이 침투하여 연

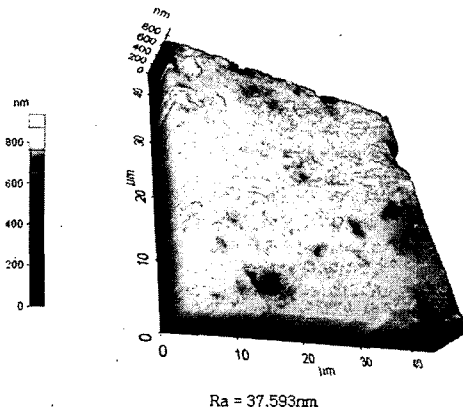
화된 반응층이 제거되어지는 매카니즘을 가진다.<sup>(8)</sup> 따라서, 실리콘 웨이퍼 연마용으로 사용되는 NALCO2371<sup>TM</sup> 슬러리와 실리콘 산화막용 슬러리인 ILD1300<sup>TM</sup>을 비교해 볼 때, 연마 제거율의 차이는 연마 대상인 LiTaO<sub>3</sub>가 일종의 산화막과 유사하기 때문이라고 생각이 된다.

반면, 같은 산화막용 CMP 슬러리인 CeO<sub>2</sub> 슬러리와 ILD1300<sup>TM</sup>을 비교해볼 때, 일반적인 산화막 CMP에서는 SiO<sub>2</sub> 슬러리보다 CeO<sub>2</sub> 슬러리의 연마 제거율이 높지만(Fig. 8) LiTaO<sub>3</sub>의 경우 SiO<sub>2</sub> 슬러리인 ILD1300<sup>TM</sup>이 더 높은 연마 제거율을 보인다. 산화막 CMP시, 슬러리의 대부분이 H<sub>2</sub>O로 이루어진 CeO<sub>2</sub> 슬러리의 경우 산화막과 수산화기(-OH)의 반응으로 인하여 생성된 수화층과 슬러리의 입자 주위의 실라놀기가 결합하여 화학적으로 재료를 뜯어 나가는 매커니즘<sup>(9)</sup>을 가지지만, LiTaO<sub>3</sub>는 H<sub>2</sub>O에 있어서 화학적으로 안정하기 때문에 연마 시 그러한 화학적인 반응이 원활히 이루어지지 않기 때문이라고 예상된다.

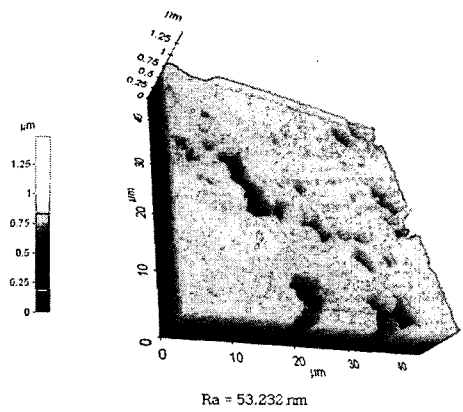
Fig. 9는 연마후의 웨이퍼 표면을 AFM(atomic force microscope)를 이용하여 측정한 결과이다. 측정 전, 탈이온수(de-ionized water)를 이용하여 브러싱(brushing) 후, 초음파로 각각 3분간 세정을 하고 측정하였다. 결과, ILD1300<sup>TM</sup> 슬러리를 이용하였을 경우 보다 깨끗한 표면을 얻을 수 있음을 알 수 있으며 표면에서 측정된 결함은 웨이퍼 제조 시 발생한 것으로 예상된다. 그렇지만 웨이퍼 표면에 존재할 수 있는 입자나 잔류물의 제거를 위한 세정법에 대해서는 더 차후 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 9 AFM images of polished wafer polished by (a) ILD1300<sup>TM</sup> (b) NALCO2371<sup>TM</sup> (c) Ceria slurry

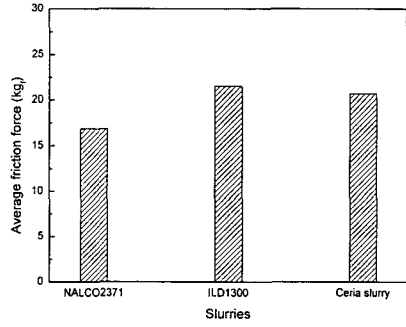


Fig. 10 Average friction force as a function of slurries

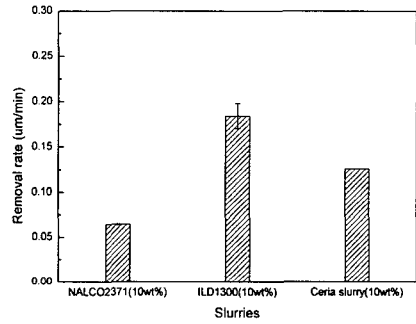


Fig. 11 Removal rate as a function of slurries with 10wt% abrasive concentration

Fig. 10은 슬러리별 평균 마찰력을 도시한 것이다. ILD1300<sup>TM</sup>의 마찰력이 가장 큰 것을 알 수 있고, CeO<sub>2</sub> 슬러리의 마찰력이 NALCO2371<sup>TM</sup> 보다 큰 것을 알 수 있다. 이는 슬러리의 연마 매커니즘과 관련이 있어 보이며, 연마 제거율은 평균 마찰력이 클수록 커지는 경향을 확인할 수 있었다.

Fig. 11은 동일한 입자함량을 가졌을 때 슬러리의 종류에 따른 연마 제거율을 도시한 것이다. 동일한 입자함량 하에서도 ILD1300<sup>TM</sup>의 연마 제거율이 가장 높음을 알 수 있다. 슬러리의 화학적 성분이 서로 다르기 때문에 입자의 영향에 관하여 논하기는 어렵겠지만, Fig. 11의 결과는 슬러리의 화학적인 조성과 함께 연마입자의 종류가 재료의 제거에 큰 영향을 미침을 의미한다고 할 수 있다. 이러한 화학적인 조성과의 차이는

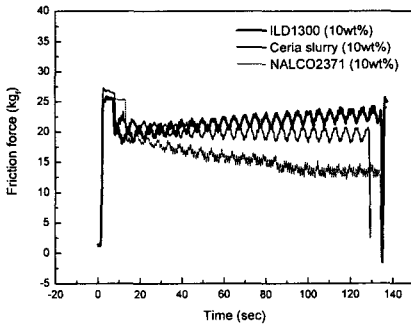


Fig. 12 Friction force of ILD1300<sup>TM</sup>, ceria slurry, NALCO2371<sup>TM</sup>

슬러리마다 서로 다른 연마 매카니즘을 가지게 할 것으로 보인다.

또한, 그러한 연마 매카니즘의 영향으로 인하여 Fig. 12와 같은 마찰력의 차이가 발생하여 슬러리마다 서로 다른 연마 제거율을 보이게 되는 것이다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 상용 슬러리를 이용하여 광디바이스와 표면 탄성과 소자에 주로 이용되는 LiTaO<sub>3</sub> 웨이퍼의 CMP에 가장 적합한 슬러리를 찾고자 하였다.

우선, 실리콘 웨이퍼 CMP용 NALCO2371<sup>TM</sup>과 산화막 CMP용 ILD1300<sup>TM</sup>, CeO<sub>2</sub> 슬러리를 선정해서 연마 제거율과 연마 후 중심선 평균 거칠기를 비교하여 평가하였다.

결과, 실리콘 단결정의 CMP에 사용되는 NALCO2371<sup>TM</sup> 슬러리의 경우, 그 연마 매카니즘은 아직 밝혀진 것이 없으나, 화합물로 이루어진 LiTaO<sub>3</sub> 웨이퍼의 연마에는 적합하지 않았다. 또한 산화막용 슬러리인 CeO<sub>2</sub> 슬러리 역시 적합하지 않은 것으로 보인다. 이는 CeO<sub>2</sub> 슬러리가 수화층과 슬러리의 입자 주위의 실라놀기가 결합하여 화학적으로 재료를 뜯어 나가는 매커니즘을 가지지만 LiTaO<sub>3</sub>는 H<sub>2</sub>O에 안정적이므로 적절한 수화반응이 일어나지 않기 때문일 것이다. 반면, ILD1300<sup>TM</sup> 슬러리는 슬러리 내의 pH 조건과 NH<sub>4</sub>OH의 수산화기(-OH)에 의해 산화막 자체가 수화되어 연마입자에 의한 마찰에 의해 물이 침투하여 연화된 반응층이

제거되어지는 매카니즘을 가지기 때문에 다른 두 종류의 슬러리에 비하여 보다 좋은 연마특성을 보이는 것으로 생각된다.

따라서, 이러한 연마 매카니즘의 차이는 마찰력의 차이로 나타나고, 이는 연마 제거율에 영향을 미친다고 할 수 있다.

## 참고문헌

- (1) Semiconductor monthly, 1997, Korea, No.110, p. 72.
- (2) Tascu, S., Moretti, P., Kostriskii, S. and Jacquier, B., 2003, "Optical Near-Field Measurements of Guided Modes in Various Processed LiNbO<sub>3</sub> and LiTaO<sub>3</sub> Channel Waveguides," *Optical Materials*, Vol. 24, pp. 297~302.
- (3) Holm, A., Sturzer, Q., Xu, Y. and Weigel, R., 1996, "Investigation of Surface Acoustic Waves on LiNbO<sub>3</sub>, Quartz, and LiTaO<sub>3</sub> by Laser Probing," *Microelectric Engineering*, Vol. 31, pp. 123~127.
- (4) Hyunseop Lee, Boumyoung Park, Gooyoun Kim, Hyoungjae Kim, Heondeok Seo and Haedo Jeong, 2004, "Effects of Friction Energy on Polishing Results in CMP Process," *Trans. of KSME A*, Vol. 28, No. 11, pp. 1807~1812.
- (5) Li Shinhwa and Miller, Robert O., 2000, "Chemical Mechanical Polishing in Silicon Processing-Semiconductors and Semimetals," Academic press, pp. 139~153.
- (6) Park Boumyoung, Lee Hyunseop, Kim Hyoungjae, Seo Heondeok, Kim Gooyoun and Jeong Haedo, 2004, "Characteristics of Friction Affecting CMP Results," *Journal of KIEEME*, pp. 1041~1048.
- (7) Xiao Hong, 2001, "Introduction to Semiconductor Manufacturing Technology," *Pearson Education International*, pp. 108~110.
- (8) Tomozawa, M., 1977, "Oxide CMP Mechanism," *Solid State Technology*, p. 169.
- (9) Lim Jong-Heun, Lee Jae-Dong, Hong Changki, Cho HanKu and Moon Joo-Tae, 2004, "Investigation of Uniformity in Ceria based Oxide CMP," *Proceeding of the KIEEME Annual Autumn Conference*, Vol. 17, pp. 120~124.