

## CMP 슬러리의 분산성 향상에 관한 연구

조성환\* · 김형재\* · 김호윤\* · 서헌덕\* · 김경준\* · 정해도†

(2000년 11월 16일 접수, 2001년 7월 30일 심사완료)

### A Study on the Improvement of the Slurry Dispersibility in CMP

Sung-Hwan CHO, Hyoung-Jae KIM, Ho-Youn KIM, Heon-Deok SEO,  
Kyoung-Jun KIM and Hae-Do JEONG

**Key Words:** CMP(화학기계적 연마), Dispersion(분산), ILD(층간 절연막), Megasonic(메가소닉), Ultrasonic(초음파), blanket wafer(블랭킷 웨이퍼)

#### Abstract

This study presents the possibility of scratch reduction on wafer in CMP by applying the ultrasonic and megasonic energy into the slurry which might contain large abrasive particles. Experiments were conducted to verify the dispersion ability of agglomerated particles by applying ultrasonic, megasonic waves and analyze the particle distribution of used slurry in case of sonic energy assisted or none. And the dispersion stability of megasonic waves was investigated through the experiment of stability of the dispersed slurry. Finally, to confirm that the distribution of particles in slurry by ultrasonic waves was actually related to scratches on wafer when CMP was done, tungsten blanket wafer was processed by CMP to compare and investigate scratches on wafer.

#### 1. 서 론

반도체 집적용량이 점점 커짐에 따라서 칩의 크기는 점점 더 커지게 되고, 한계를 극복하기 위하여 배선의 선폭 미세화, 다층 배선화를 지향하고, 대직경의 웨이퍼를 채용하기에 이르렀다.<sup>(1)</sup> 웨이퍼 전면에 걸쳐 서브미크론 이하의 평탄도를 얻기 위하여 개발된 가공공정이 화학 기계적 연마(Chemical Mechanical Polishing ; CMP)이며, 제거되는 재료의 종류에 따라서 각각 ILD CMP, 금속 CMP 등으로 나뉘어진다. 금속 CMP의 대상이 되는 금속은 텅스텐, 알루미늄, 구리등이 있으며, 이들 배선재료는 CMP 적용시에 슬러리의 물리적, 화학적 물성과 가공방식등에 의하여 표면에 크고 작은 문제점들이 발생하게 된다.<sup>(2,3)</sup> 이 중에

서 스크래치는 CMP 슬러리 속의 거대 입자에 의해 발생하여 배선의 결함에 지대한 영향을 미치며, 이러한 스크래치 발생을 감소시키기 위해 현재 필터가 사용된다.<sup>(4)</sup>

본 연구에서는 실제로 초정밀 세척 분야에 응용되는 초음파와 메가소닉 발생기를 이용하여 CMP 슬러리 속에 초음파와 메가소닉을 조사했을 때, CMP 슬러리 내에서의 입자 분산 정도를 측정했다. 그리고 메가소닉을 조사한 CMP 슬러리의 시간에 따른 분산 안정성을 검토했으며 마지막으로 초음파를 조사해 입자를 분산시킨 CMP 슬러리를 이용해 텅스텐 웨이퍼를 가공하여 CMP 슬러리 내의 입자분산과 웨이퍼상의 스크래치와의 관계를 확인하였다.<sup>(5,6)</sup>

#### 2. 초음파와 메가소닉의 입자 분산 원리

##### 2.1 초음파의 입자 분산 원리

초음파에 의한 입자분산은 주로 캐비테이션에서 발생하는 강한 충격력과 순간적인 높은 압력에 의해서 거대입자가 분쇄되는 현상에 의존한

\* 부산대학교 정밀기계대학원

† 책임저자, 회원, 부산대학교 기계공학부

E-mail : atommy@dreamwiz.com

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

다. 캐비테이션이 발생하면, 기포의 진동에 의한 교반 효과와 기포의 폭발에 의한 기계적, 열적, 화학적 효과에 의하여 입자가 분산된다. 입자의 분산은 분산 대상 입자의 크기에 따라 적절한 초음파 영역대와 출력을 결정하여야 한다.

2.2 메가소닉의 입자 분산 원리

1MHz 이상의 메가소닉인 경우에는 파의 특성상 이러한 종류의 공동현상은 일어나지 않고 액체분자의 입자가속도가 매우 커지게 된다. 이 거대가속도가 큰 마찰력 및 충격력을 발생시키므로 이를 이용하여 초정밀입자의 분산 및 세척을 하게 된다.

3. 초음파에 의한 입자 분산 실험

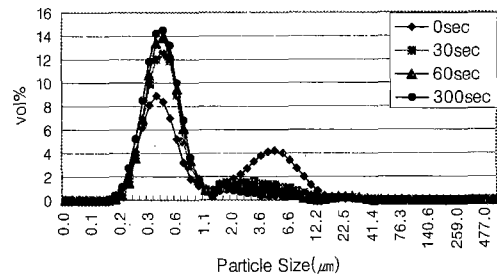
3.1 실험 장치 및 방법

본 실험에서는 초음파를 조사했을 때, 슬러리 내에서 연마입자의 분산정도를 확인하기 위해 ILD CMP용 슬러리인 Rodel사의 ILD 1300과 텅스텐 CMP용 슬러리인 Cabot사의 EPW 2000을 사용하였다. ILD 1300속의 연마입자는 실리카(SiO<sub>2</sub>)이고 EPW 2000속에 분산되어 있는 연마 입자는 알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)이다. 각각의 슬러리를 플라스틱 용기에 2000ml씩 담아서 Fig. 1과 같이 초음파(20kHz, 1200W)를 조사하면서 각각의 시간에 따라 Malvern corp사의 Mastersizer를 사용해서 입도 분석을 실시하였다.

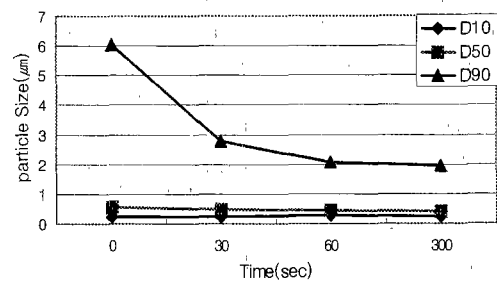
3.2 실험 결과 및 고찰

Fig. 2는 실리카(SiO<sub>2</sub>)를 연마입자로 사용하는 ILD 1300 CMP 슬러리에 초음파(20kHz, 1200W)

를 조사했을 때의 단위체적에 대한 슬러리 입자의 체적비(vol%)와 체적기준 입자 크기의 변화를 나타낸 것이다. Fig 2(a)를 보면 초음파를 조사하기 전의 슬러리에 실제 CMP 가공시에 스크래치를 유발할 가능성이 있는 1 $\mu$ m 이상의 거대 입자들이 존재함을 알 수 있다. 이러한 거대 입자의 생성 원인에는 ①슬러리 제조 공정 및 최종 사용 시점에서의 입자 응집, ②저장 용기 내에서의 건조, ③저장, 운반 중에 발생하는 온도 변화, ④회식 중에 발생하는 pH 변동(pH Shock)등이 있다. 실험에서 사용된 슬러리의 결집 원인은 이들의 복합적인 영향인 것으로 생각된다. Fig. 2(a)를 보면 1 $\mu$ m 이상의 거대 입자 분포 영역이 초음파를 조사했을 때 분산되어 줄어들었음을 알 수 있다. 이것은 초음파의 분산 효과에 기인한, 슬러리 액속의 거대 입경이 1차 또는 2차 입경으로 줄어드는 것으로 보여지고, 거대 입자 영역의 줄어드는 체적만큼 가공입자영역(0.1~1 $\mu$ m)이 늘어나고 있음을 알 수 있다. 이것은 Fig. 2(b)의 입자 크기 변화를 보면 더 잘 알 수가 있는데 1 $\mu$ m 이상의 거대 입자들이 초음파의 조사에 의해 급격하게 줄어들고 있음을 알 수 있다. Fig. 2(b)에서 D10은 체적기준 입자경으로 누적 분포에서 10%의 입자경을 말하며 D50은 50%, D90은 90%의 입자경을



(a) The Volume percentage of particles



(b) The particle size changes

Fig. 2 The Dispersion of ILD 1300(2000ml) CMP slurry using ultrasonic generator

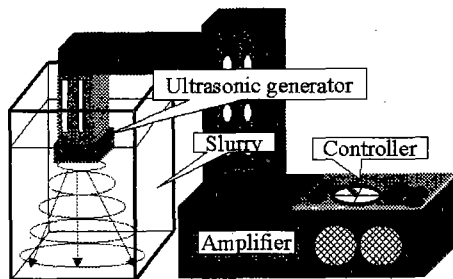
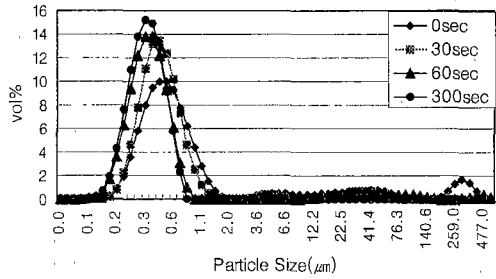
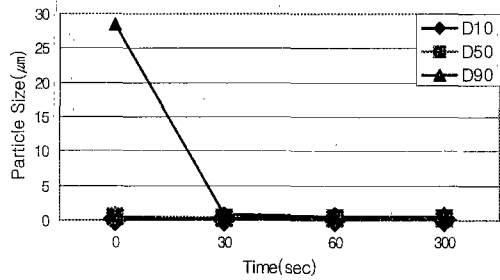


Fig. 1 Schematic of Experimental Setup for Slurry Dispersion by Ultrasonic waves



(a) The Volume percentage for each time



(b) The particle size changes

Fig. 3 The Dispersion of EPW 2000(2000ml) using ultrasonic generator

말한다. 따라서 슬러리에 20kHz의 초음파를 조사하면, 초음파 에너지가 거대 실리카 입자는 가공 입자영역으로 분산시키고 가공입자영역의 입자에는 영향을 미치지 않는다.

Fig. 3은 알루미늄( $Al_2O_3$ )를 연마입자로 사용하는 EPW 2000 CMP 슬러리에 초음파(20kHz, 1200W)를 조사했을 때, 시간에 따른 단위체적에 대한 슬러리 입자의 체적비(vol%)와 체적기준 입자 크기의 변화를 나타낸 것이다. ILD 1300 슬러리에서와 마찬가지로 초음파를 조사하면 CMP가공시 스크래치를 유발하는 거대 입자들이 분산되어 가공입자영역의 입자수가 늘어남을 알 수 있다. Fig. 3(a)에서 각각의 시간에 따른 입자의 분산정도를 볼 수 있는데 초음파 조사시간이 길어질수록 거대 입자의 분산이 더 많이 진행됨을 알 수 있고 5분 정도 조사하면 1 $\mu m$ 이상의 거대 입자는 거의 사라짐을 볼 수 있다. Fig. 3(b)를 보면 초음파 조사 초기에 거대 입자들이 급격하게 줄어들고 있음을 알 수 있다. 따라서 EPW 2000속의 알루미늄( $Al_2O_3$ ) 연마 입자도 20kHz의 초음파를 조사했을 때, CMP 가공시 스크래치를 유발할 수 있는 1 $\mu m$ 이상의 거대 입자가 가공영역의 입자 크기로 분산됨을 알 수 있다.

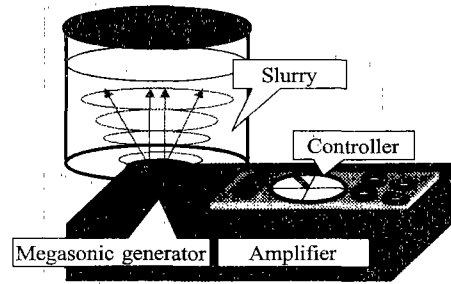


Fig. 4 Schematic of Experimental Setup for Slurry Dispersion by Megasonic Generator

#### 4. 메가소닉에 의한 입자분산실험

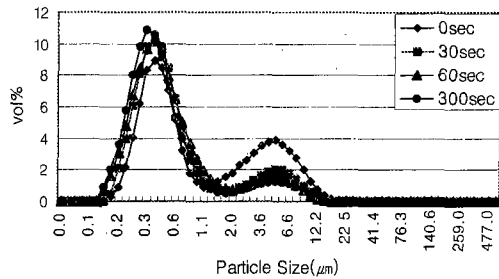
##### 4.1 실험 장치 및 방법

본 실험에서는 메가소닉을 조사했을 때, 슬러리 내에서 연마 입자의 분산 정도를 확인하기 위해 초음파 실험에서와 마찬가지로 ILD 1300과 EPW 2000을 이용하였다. 실험에서 사용한 메가소닉 발생기(1.6MHz, 30W)는 초음파 발생기(20kHz, 1200W)에 비해 그 출력이 작아서 초음파 실험에서 사용한 슬러리 양의 1/10인 200ml씩의 슬러리를 사용하였다. Fig. 4는 실험에 사용한 메가소닉 발생기이다.

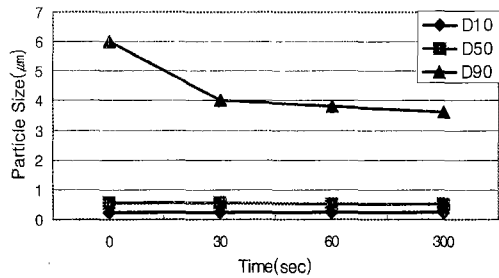
##### 4.2 실험 결과 및 고찰

Fig. 5는 ILD 1300 CMP 슬러리에 메가소닉(1.6MHz, 30W)을 조사했을 때의 단위체적에 대한 슬러리 입자의 체적비(vol%)와 체적기준 입자 크기의 변화를 나타낸 것이다. Fig 5(a)는 메가소닉의 조사에 의해서도 초음파 조사와 같은 실리카 입자의 분산 효과를 볼 수 있음을 보여준다. 하지만 계속된 메가소닉의 조사에도 불구하고 1 $\mu m$  이상의 거대 실리카 입자들을 모두 분산 시키지 못함을 알 수 있고 Fig. 5(b)에서 볼 수 있듯이 5분의 메가소닉 조사에 의해서도 3 $\mu m$ 이상의 거대 연마 입자들이 슬러리 내에 존재함을 알 수 있다.

Fig. 6은 EPW 2000 CMP 슬러리에 메가소닉을 조사 했을 때의 그래프들이다. 여기서도 초음파 조사 실험에서와 마찬가지로 메가소닉이 알루미늄 입자의 분산에 탁월한 효과 있음을 보여준다. Fig. 6(a)에서 60초 동안 메가소닉을 조사했을 때 250 $\mu m$  이상의 거대 입자들이 잠시 생겼다가 계속해서 300초 동안 메가소닉을 조사하면 사라지는

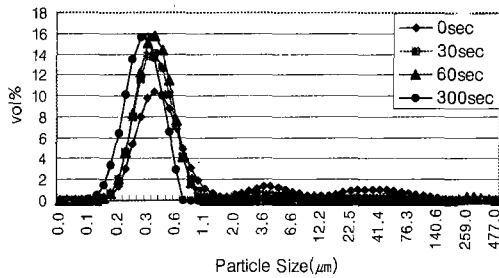


(a) The Volume percentage for each time

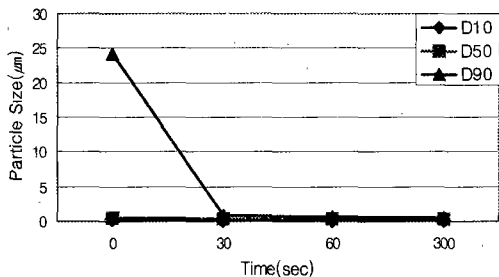


(b) The particle size changes

Fig. 5 The Dispersion of ILD 1300(200ml) using megasonic generator



(a) The Volume percentage for each time



(b) The particle size changes

Fig. 6 The Dispersion of EPW 2000(200ml) using megasonic generator

데, 이것은 메가소닉의 거대 가속도에 의해 입자가 잠시 결집했다가 다시 분산된 것으로 생각된다. 또한 메가소닉 에너지에 의한 슬러리 내의 온도 변화, 국소 부분의 pH 변동도 이러한 일시적인 입자의 응집에 영향을 미친 것으로 생각된다.<sup>(7)</sup> Fig. 6(b)를 보면 초음파 조사 때와 마찬가지로 메가소닉 조사 초기에 1 $\mu$ m 이상의 거대 입자들이 급격히 줄어들어 30초의 메가소닉 조사에 의해서도 1 $\mu$ m 이상의 거대입자들이 거의 사라지고 있음을 알 수 있다.

결과적으로 ILD 1300내의 실리카 입자 보다 EPW 2000 속의 알루미늄 입자가 메가소닉에 의해서 더 쉽게 분산됨을 알 수 있으며 메가소닉 조사 과정에서 250 $\mu$ m 이상의 거대 입자가 발생되기도 하지만 계속된 메가소닉의 조사로 모두 분산됨을 알 수 있다.

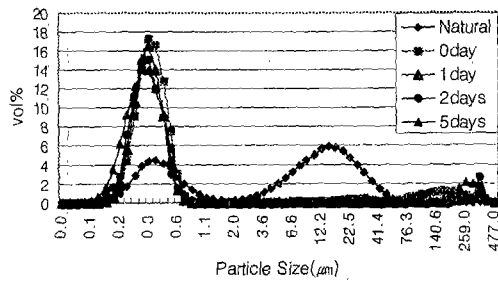
### 5. 분산 안정성 실험

#### 5.1 실험 장치 및 방법

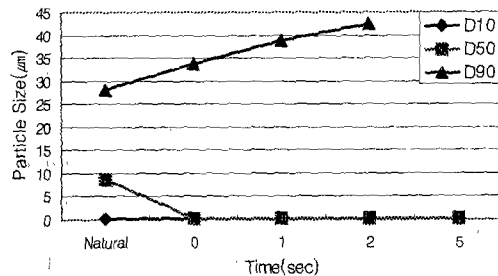
본 실험에서는 메가소닉을 조사하여 일단 분산된 연마 입자가 시간이 지남에 따라 어떠한 변화를 일으키는지 관찰하였다. 그래서 우선 메가소닉 발생기(1.6MHz, 30W)를 이용하여 400ml의 EPW 2000에 메가소닉을 300초 동안 조사하여 슬러리 속의 거대 입자를 분산 시켰다. 그리고 분산 직후에 첫번째 입도 분포를 측정하고, 1일, 2일, 5일이 지난 후에 재 측정을 실시했다.

#### 5.2 실험 결과 및 고찰

Fig. 7(a)에서 볼 수 있듯이, 초기 EPW 2000 슬러리는 앞의 메가소닉 실험에서 보다 1 $\mu$ m 이상의 거대 입자들을 더 많이 가지고 있다. 이러한 거대 입자들은 300초의 메가소닉 조사에 의해 거의 분산되어졌지만 100 $\mu$ m 이상의 거대 입자들이 생겨났음을 알 수가 있다. 분산 후 시간이 지남에 따라 슬러리 내의 알루미늄 입자는 다시 조금씩 응집하고 있으며 그 응집 과정에서 300 $\mu$ m 이상의 거대 입자들이 생기고 있음을 알 수 있다. 이 거대 입자들은 메가소닉 조사에 의해 생겨난 100 $\mu$ m 이상의 입자들이 재응집해서 생긴 것으로 생각된다. 그래서 5일이 지난 이후에는 가공 영역의 입자(0.1~1 $\mu$ m)와 300 $\mu$ m 정도 영역의 입자만이 존재함을 알 수 있다. 이것은 Fig. 7(b)에서 더 잘 알 수가 있는데 시간이 지남에 따라 D90은 40 $\mu$ m 이상까지 계속 증가하고 있으며 D50은 1 $\mu$ m 이하로 줄어들어서 거의 변하지 않는다.



(a) The Volume percentage for each time



(b) The particle size changes

Fig. 7 The dispersion characteristics of EPW 2000(400ml) for each time

결과적으로 메가소닉을 조사하여 CMP 슬러리를 분산할 때 슬러리 내의 모든 연마입자들을 1 $\mu$ m 이하로 분산시켜야만 거대 입자의 재응집을 막아, 안정한 CMP 가공을 할 수가 있다.

## 6. 초음파 분산을 통한 텅스텐 웨이퍼의 스크래치 발생 감소 실험

### 6.1 실험 장치 및 방법

본 실험에서는 초음파(20kHz, 1200W)를 300초 동안 조사한 EPW 2000 슬러리와 조사하지 않은 슬러리로 6" 텅스텐 blanket wafer를 CMP 가공한 후, 웨이퍼 상의 스크래치를 조사하였다. CMP 장치로는 Lapmaster사의 LGP-381을 사용했으며 측정 장치로는 Olympus사의 CK40M 광학현미경을 사용했다. 측정은 웨이퍼 표면 5곳을 지정하여 (Fig. 8) 10 $\times$ 10mm의 시편으로 잘라서, 100 배율로 측정했다. Fig. 9는 CMP 가공전의 텅스텐 blanket wafer의 표면 사진이다.

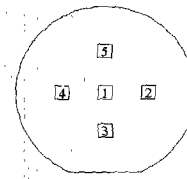


Fig. 8 The positions of samples

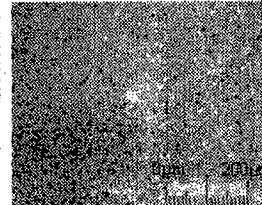


Fig. 9 The Optical microscope images before CMP

### 6.2 실험 결과 및 고찰

Fig. 10은 초음파를 조사하지 않은 EPW 2000 슬러리로 CMP한 텅스텐 웨이퍼의 표면을 광학현미경으로 촬영한 사진인데 대부분의 시편에서 스크래치가 발견되고 있음을 알 수 있다. Fig. 11은 초음파를 조사해서 입자를 분산시킨 슬러리로 CMP 가공한 텅스텐 웨이퍼의 가공면이다. 다섯 개의 시편 중 어느 곳에서도 스크래치를 찾아보기 어렵다. 따라서 초음파를 사용한 슬러리 내의 연마 입자의 분산이 CMP 가공시 스크래치 발생에 큰 영향을 가함을 알 수 있다.

## 7. 결론

본 실험에서는 초음파와 메가소닉이 가지는 입자 분산 효과를 이용하여 CMP 가공시 스크래치 발생의 주원인인 슬러리 속의 거대 연마 입자를 분산시켜 CMP 가공시 스크래치를 감소시킬 수 있음을 확인했다. 실리카나 알루미늄을 연마 입자로 가지는 슬러리들은 초음파와 메가소닉의 조사에 의해 분산되어짐을 확인할 수 있었고 조사하는 초음파와 메가소닉의 주파수, 조사하는 시간, 출력 파워, 슬러리의 종류, 슬러리의 양, 슬러리 속의 연마입자 종류에 따라서 그 분산 특성은 달라짐을 알 수 있다. 실험에서 사용한 초음파와 메가소닉은 대체적으로 슬러리의 거대입자를 가공 영역 연마입자로 분산시켜주는 우수한 분산성을 나타냈다.

이상의 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 CMP 슬

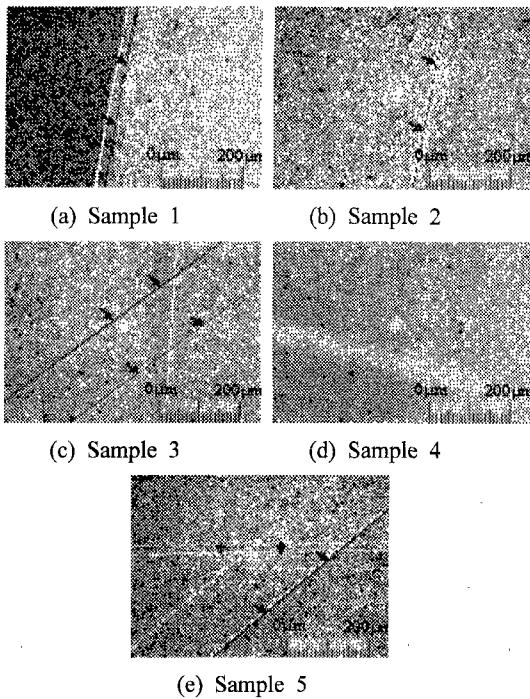


Fig. 10 The optical microscope images of W wafer without ultrasonic dispersion

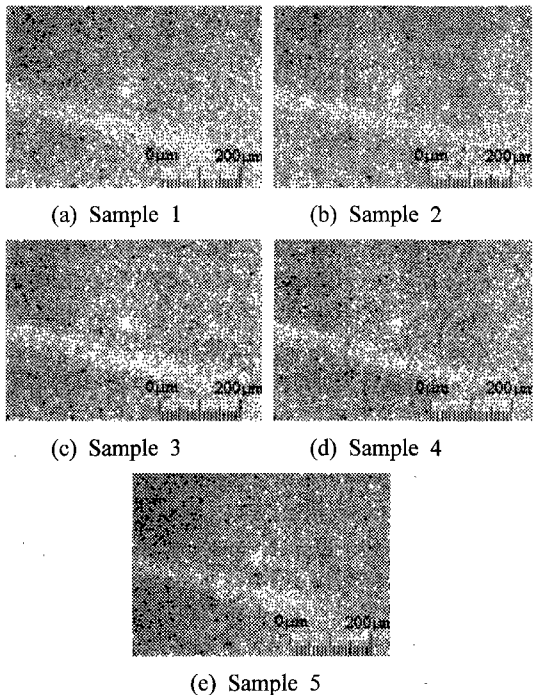


Fig. 11 The optical microscope images of W wafer with ultrasonic dispersion

러리 속에 들어있는 거대 연마 입자들은 CMP 가공시 생기는 스크래치와 깊은 관계를 가지며 이러한 거대 입자들은 초음파와 메가소닉에 의한 입자의 분산 효과에 의해 가공 영역의 입자로 분산되어질 수 있음을 알 수 있다. 단 여러 가지 인자에 따라서 각각의 슬러리에 대한 분산 특성이 달라지므로 각각의 슬러리에 대해 가장 최적의 초음파와 메가소닉을 적용하여 슬러리 내의 거대 입자를 분산시킴으로써 CMP 가공시 스크래치 발생을 감소시킬 수 있다.

참고문헌

- (1) Jeong, H. D., 1996, "Development of CMP Process for Global Planarization of ULSI," *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers*, 36(3), pp. 220~230.
- (2) Li, S. H. and Miller, R. O., 1997, "Chemical Mechanical Polishing in Silicon Processing," pp. 140~146.
- (3) Haung, J., Chen, H. C., Wu, J. Y. and Lur, W., 1999, "Investigation of CMP Micro-Scratch in the Fabrication of Sub-Quarter Micron VLSI Circuits," *CMP-MIC Conference*, pp. 77~79.
- (4) Vasilopoulos, G., 1998, "Central Distribution System of CMP Slurries Using Planargard Filters," *Millipore, Microelectronics Application News*, pp. 76~79.
- (5) Hipp, A. K., Storti, G. and Morbidelli, M., 1999, "Particle Sizing in Colloidal Dispersions by Ultrasound. Model Calibration and Sensitivity Analysis," *American Chemical Society*, pp. 2338~2345.
- (6) Hatanaka, S. I., Taki, T., Kuwabara, M., Sano, M. and Asai, S., 1993, "Effect of Process Parameter on Ultrasonic Separation of Dispersed Particle in Liquid," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 38, No. 5B, pp. 3096~3100.
- (7) Fisher, M. L., Misra, A., Schmidt, B., Norbert, J. and Morrison, W., 2001, "Effects of Temperature and Shear History on CMP Slurry Quality and their Relation to Wafer Polish Performance," *CMP-MIC Conference*, pp. 204~211.