

# 마이크로 표면 구조물을 갖는 CMP 패드 제작 기술 개발

최재영\*, 정성일\*, 박기현\*, 정해도\*\*, 박재홍\*\*\*, 키노시타 마사하루\*\*\*

## Development of CMP Pad with Micro Structure on the Surface

Jae Young Choi\*, Sung Il Chung\*, Ki Hyun Park\*, Hae Do Jeong\*\*,  
Jae Hong Park\*\*\*, Masaharu Kinoshita\*\*\*

### ABSTRACT

Polishing processes are widely used in the glass, optical, die and semiconductor industries. Chemical Mechanical Polishing (CMP) especially is becoming one of the most important ULSI processes for the 0.25m generation and beyond. CMP is conventionally carried out using abrasive slurry and a polishing pad. But the surface of the pad has irregular pores, so there is non-uniformity of slurry flow and of contact area between wafer and the pad, and glazing occurs on the surface of the pad. This paper introduces the basic concept and fabrication technique of the next generation CMP pad using micro-molding method to obtain uniform protrusions and pores on the pad surface.

**Key Words** :Chemical-Mechanical Polishing (화학 기계적 연마), Polishing pad(연마 패드), Micro molding method (마이크로 몰딩 기술)

### 1. 서론

반도체 집적 소자는 매년 더 작은 면적에 더 많은 소자를 집적하기 위한 노력으로 현재는 손톱 크만한 칩 위에 10<sup>9</sup>개 이상의 소자를 집적해 넣을 정도로 기술이 발전하고 있다. 이렇게 소자를 적은 칩에 집적하기 위해서는 우선 일차원 적으로는 선폭의 최소화, 2차원적으로 칩 및 웨이퍼의 대면적화, 3차원적으로는 다층배선과 같은 구조적인 변화가 필요하다. 이러한 구조적인 변화를 이끌어 낸 핵심 기술은 여러 공정 기술과 더불어 로광(Lithography) 기술과 평탄화(Panarization)기술 이다. 이러한 평탄화 기술에는 레지스트 에치백(Resist

etch back) 이나 리플로우(Reflow), CMP(Chemical mechanical polishing) 등이 있으며 그 중에서 국소 및 광역 평탄화가 뛰어난 CMP 기술이 가장 유망한 기술로 부상하고 있다.<sup>1</sup>

CMP는 기계적 작용과 화학적 작용의 상승 효과에 의하여 재료의 표면에 결함을 남기지 않고 연마하는 방법으로 연마를 하기 위해서는 연마 공구인 패드와 가공물인 웨이퍼 사이에 연마 입자를 함유한 슬러리를 개재시킨 채 압력을 가하면서 공작물과 패드의 상대 운동을 시키며 연마하는 가공 기구를 가지고 있다.

\* 접수일: 2003년 10월 24일; 게재승인일: 2004년 2월 20일  
# 교신저자: 부산대학교 정밀정형협동과정  
E-mail choijy@dreamwiz.com Tel. (051) 510-3210  
\* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원  
\*\* 부산대학교 ERC  
\*\*\* Rodel-Nitta

CMP 가공을 이루는 주요소에는 패드, 슬러리 및 압력과 속도와 같은 공정변수와 컨디셔닝 등이 있다. 이들 주요소 중에서 특히 웨이퍼에 직접 접촉하여 압력을 전사시키고 슬러리를 웨이퍼 표면에 유동시켜 주며 연마 입자를 웨이퍼 표면에 압입시키는 역할을 하는 연마 패드의 특성은 매우 중요하다.<sup>2,3</sup>

현재 사용되어지는 연마 패드는 폴리우레탄 (Poly-urethane) 재료를 베이스로 하여 패드 표면에 무수히 많은 마이크로 공극(Micro pore) 와 돌기가 불규칙적으로 분포 되어지는 구조로 이루어져 있다. 마이크로 공극의 역할은 웨이퍼와 패드 사이에 연마 입자를 함유한 슬러리를 운반하는 것이며 돌기부분은 실제적으로 웨이퍼와 패드가 접촉하여 반응하는 부분이다.

Fig. 1은 현재 CMP 공정에 사용되어지고 있는 IC1000 패드의 표면의 개략도를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 이러한 패드 표면의 불균일한 형상은 CMP 연마 시 슬러리의 불균일한 유동을 일으키며 또한 웨이퍼와 실제 접촉하는 패드의 접촉 면적의 변화를 일으켜 가공 후 웨이퍼의 표면의 Uniformity를 악화시키며 또한 Nguyen<sup>4</sup>는 패턴 웨이퍼 연마 시 패드 표면의 마이크로 거칠기가 디싱 (Dishing) 현상을 발생 시켜 소자의 수율에 영향을 준다고 했다.

이에 본 논문에서는 실리콘 고무를 이용하여 마이크로 표면 구조물을 표면에 균일하게 형성하는 기술을 이용하여 기존의 패드와는 전혀 다른 새로운 CMP용 연마 패드를 제작 하였다.

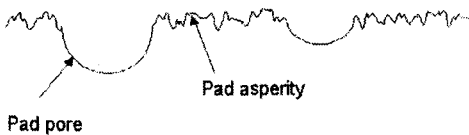


Fig. 1 Schematic of IC1000 pad surface

## 2. 실리콘 고무의 특성<sup>5</sup>

실리콘(Silicone)은 유기기를 함유한 규소와 산소 등이 화학적으로 결합하여 서로 연결된 모양을 이루는 고분자를 말한다. 실리콘은 유기 재료와 무기재료가 가진 성질을 겸비한 독특한 재료로써 많

은 산업에서 다양한 형태로 응용되어 지고 있다. 실리콘은 고분자의 배열 형태에 따라 실리콘 오일, 실리콘 고무, 실리콘 레진으로 나누어지며 그 중에서 하드 몰드가 아닌 소프트 몰드로 널리 이용되어지는 소재가 실리콘 고무이다. 실리콘 고무가 지닌 가장 큰 특징은 이형성이 좋다는 것이다.

실리콘 고무의 분자 구조는 Fig. 2에서 보여지는 것처럼 일반적인 고분자 재료와 같은 망상 구조를 가지며 그림에서 두꺼운 선들은 매우 짧은 길이를 갖는 고분자를 나타내고 있으며 얇은 선들은 비교적 긴 분자 사슬을 갖는 고분자를 나타내고 있다, 또한 그물 구조의 결합점은 통상 수백개의 Si-O 마다 한 개가 포함된 매우 느슨한 구조를 가지게 되며 이와 같은 구조에 의해 신축성을 가지게 되며 이러한 신축성을 지닌 실리콘 고무를 이용하여 몰드로 제작 시 미세한 부분이라도 제품에 아무런 훼손을 주지 않고 이형이 가능 하게 된다. 실리콘 고무에는 부가형과 축합형의 두 가지 종류가 있으며 본 논문에서는 부가형 실리콘 고무를 사용 하였다. 부가형 실리콘은 축합형 실리콘에 비해 열경화시 발생하는 수축이 적기 때문에 치수 정밀도 측면에서 우수하다. 일반적으로 축합형 실리콘 고무의 경우에는 경화가 이루어지는 동안에 1% 정도의 선수축률을 나타내는 반면에 부가형의 경우 0.2% 미만의 선수축률을 나타내므로 마이크로 구조물을 가진 패드 제작시 우수한 치수 정도를 얻을수 있다

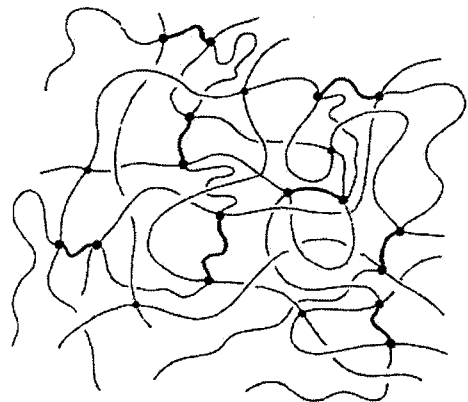


Fig. 2 Molecular structure of silicone rubber

## 3. 마이크로 표면 구조물을 가지는 CMP패드 제작 기술

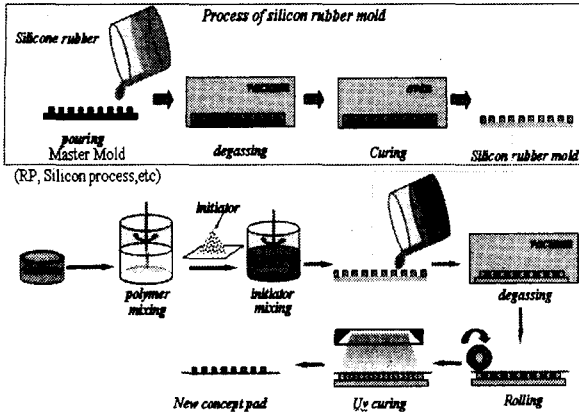


Fig. 3 Manufacturing process of CMP pad using micro molding method

Fig. 3은 마이크로 표면 구조물을 가지는 CMP 패드 제작 기술에 대해 나타내었다. 그림에서 보듯이 제작 공정은 크게 두가지로 나누어져 있다. 우선 원하는 마이크로 구조물을 가진 마스터 몰드 (Master mold)를 제작하는 과정과 이 마스터 몰드를 실리콘 고무를 이용하여 소프트 몰드로 제작 후 이를 이용하여 패드를 제작하는 공정으로 이루어져 있다.

마스터 몰드를 제작하는 방법에는 반도체 제작 기술 중에 하나인 RIE기술을 이용하거나 마이크로 RP(Micro RP), 포토에칭(Photo etching) 기술을 이용하여 제작이 가능하다. 각각의 방법에 따른 장단점은 아래와 같다. RIE 기술을 이용하여 실리콘 웨이퍼를 이용하여 마스터 몰드를 제작하는 경우 정확하게 형상과 치수를 얻을 수 있는 반면에 마스크제작에 비용이 많이 들며 또한 패드 디자인을 변경 시 오랜 시간이 걸리며 제작할 수 있는 패드의 크기가 웨이퍼의 크기에 한정되는 단점이 있다. 마이크로 RP 기술을 이용하여 마스터 몰드 제작 시 가장 빠르게 마스터 몰드를 제작 할 수 있는 장점이 있으나 패드 표면에 마이크로 구조물의 수가 증가함에 따라 CAD 도면을 STL 파일로 변환이 데이터 양이 많아 제작이 불가능한 경우가 발생한다. 포토에칭 기술을 이용하여 마스터 몰드를 제작하면 대면적에 동일한 형상을 지닌 구조물을 만드는데 유리하며 캐드 도면만 있으면 빠르게 제작 가능한 장점이 있으나 건식 에칭이 아닌 습식 에칭이기 때문에

에 재료에 등방성 에칭이 일어나기 때문에 치수 오차가 발생하는 단점이 있다.

이렇게 제작되어진 마스터 몰드에 실리콘 고무를 부은 다음 진공 주형기를 이용하여 실리콘 고무에 들어 있는 기포를 뽑는 탈포 공정을 거친 후 건조조에 넣어 열경화를 시키면 실리콘 고무형이 제작되며 제작되어진 고무형에 패드의 재료가 되는 우레탄과 광경화제를 섞은 재료를 넣은 후 다시 탈포 공정을 거친 후 back 필름이 되는 폴리카보네이트(Poly carbonate)필름을 롤링공정(Rolling process)을 이용하여 덮은 후 UV 램프를 이용하여 광경화를 시키면 마이크로 표면 구조물을 갖는 CMP 패드를 제작 할 수 있다.

광경화 방식을 이용하기 때문에 기존에 제작하는 열경화 방식에 비해 빠르게 제작 할 수 있으며 열 발생이 적어 치수 정밀도로 우수하다.

본 논문에서는 먼저 RIE 방법을 이용하여 4인치 웨이퍼를 마스터 몰드로 제작, 이를 실리콘 고무를 이용하여 소프트 몰드로 제작하였다. 제작되어진 실리콘 고무 몰드는 SEM 사진을 이용하여 치수 정도를 조사하였으며 이를 이용하여 4인치 크기의 패드를 제작하였다. 또한 포토에칭을 이용하여 실제 연마에 사용할 수 있는 크기의 마스터 몰드를 제작하였으며 이를 이용하여 대면적에 마이크로 구조물을 갖는 CMP 패드를 제작하였다.

#### 4. 마이크로 표면 구조물을 갖는 CMP 패드의 제작

Fig. 4는 RIE를 이용해 제작된 마스터 몰드의 SEM 사진 및 wyko NT3300(Veeco) 장비를 사용하여 측정한 값을 나타내고 있다. 제작되어진 마스터 몰드 돌기의 크기는 가로 210  $\mu\text{m}$ , 세로 205  $\mu\text{m}$  이고 높이가 80  $\mu\text{m}$  이며 돌기와 돌기 사이의 거리가 50  $\mu\text{m}$ 로 제작하였다. 이렇게 제작되어진 마스터 몰드에 실리콘 고무를 부어 열경화를 시켜 표면 구조물의 형상을 전사하였다.

Fig. 5와 Fig 6.은 전사되어진 실리콘 고무형과 제작되어진 연마패드의 SEM 사진을 나타내었다. 그림에서 보듯이 실리콘 고무형은 마스터 몰드의 형상을 정확하게 가지고 있으며 제작되어진 연마 패드는 패드 표면과 형상에 아무런 손상 없이 완벽하게 전사, 이형 되어진 것을 알 수가 있다.

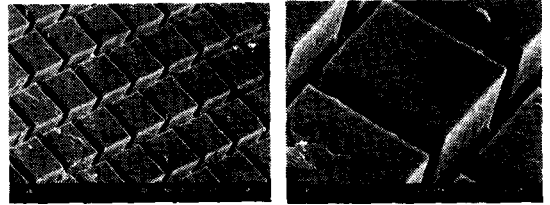
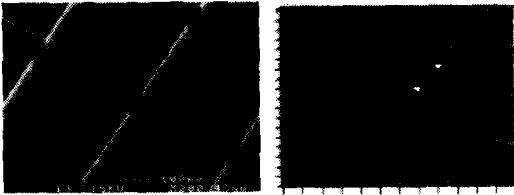


Fig. 6 CMP Polishing pad using micro molding method

4인치 실리콘 몰드를 이용하여 패드를 제작하는 방법을 바탕으로 실제 연마에 사용할 수 있는 CMP 연마 패드를 제작하였다.

Fig. 7은 포토 에칭법을 이용하여 제작되어진 마스터 몰드를 나타내었다. 제작되어진 마스터 몰드는 SUS 304L 재료를 습식 에칭하여 가로 410mm, 세로 410mm 크기로 제작 하였다.

Fig. 8은 마스터몰드 표면의 디자인을 나타내었다. 패드 디자인은 웨이퍼와 패드와의 접촉면적을 기준으로 하였다. 일반적으로 CMP 연마시 시간이 지남에 따라 연마율이 떨어지며 이는 실제 패드와 웨이퍼와의 접촉에 의해 패드표면의 돌기가 마멸이 되어 웨이퍼와 패드와의 접촉면적이 증가함에 따라 연마율이 감소한다. 이에 본 논문에서는 이러한 현상을 방지하고 항상 일정한 접촉 면적을 유지 할 수 있게 패드를 디자인하였다. 바둑판 모양으로 격자를 배치하였고 슬러리의 유동이 균일하게 모든 표면에 흘러 들어 갈 수 있게 디자인하였으며 돌기의 크기는 가로 길이가  $700\ \mu\text{m}$ , 폭이  $100\ \mu\text{m}$  높이가  $50\ \mu\text{m}$ 의 형상으로 제작하였다.

Fig. 9는 제작되어진 마스터 몰드를 실리콘 고무를 이용하여 표면에 마이크로 구조물을 가진 몰드를 제작하였다. Fig. 10은 이렇게 제작되어진 실리콘 고무 몰드를 이용하여 앞에서 기술한 방법을 사용하여 실제 마이크로 표면 구조물을 갖는 CMP 연마 패드와 현재 CMP 가공시 사용되고 있는 IC1000 패드의 표면을 나타내었다. 그림에서 보듯이 불규칙하게 분포 되어진 돌기와 마이크로 공극 (Micro pore)부분이 완전히 정형화되어 제작되어진 것을 알 수 있다.

Fig. 11은 이렇게 제작되어진 패드의 표면을 접촉식 표면 거칠기 측정기를 이용하여 측정한 결과이다. 그림에서 보듯이 패드 표면은 동일한 형상을 지님을 알 수 있다.

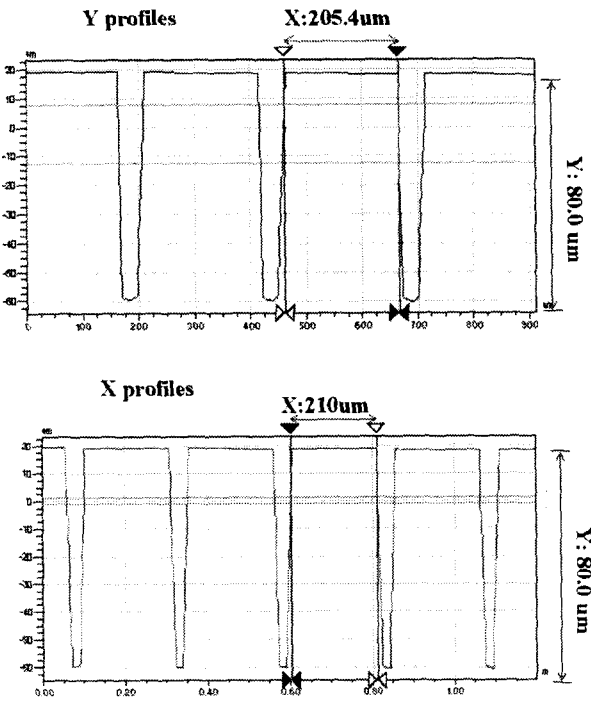


Fig. 4 Master mold made by RIE

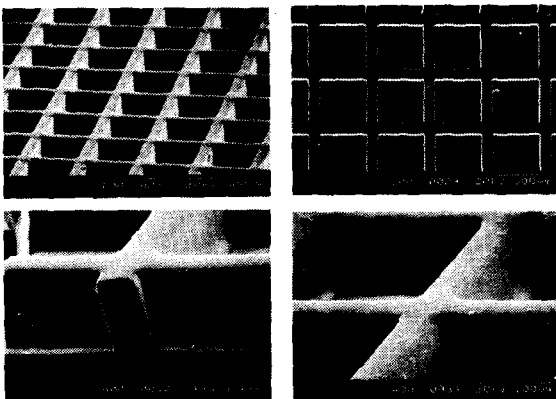


Fig. 5 Silicone rubber mold

이렇게 제작되어진 패드는 연마 시 패드와 웨이퍼의 접촉 면적이 동일하게 유지되며 슬러리를 웨이퍼 전표면에 균일하게 운반 할 수 있으므로 이를 이용하여 연마 시 가공되어진 웨이퍼의 uniformity는 향상시킬 수 있으며 또한 Kim<sup>6</sup>, Park<sup>7</sup>은 단순히 패드 표면에 그루브(groove)의 폭과 조밀도를 변화시켜 접촉 면적을 변화시키는 연구가 이루어지고 있으나 이러한 패드 표면을 제어하는 기술을 이용하면 CMP 연마 시 접촉 면적과 연마율과의 관계, 패드 표면의 돌기의 형상이나 조밀도 그리고 그루브 형태에 따른 연마 특성을 정형화 할 수 있다.

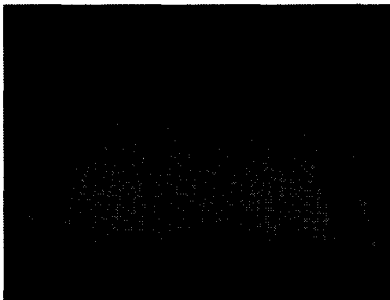


Fig. 7 Master mold using photo etching process (W: 410mm H : 410mm)

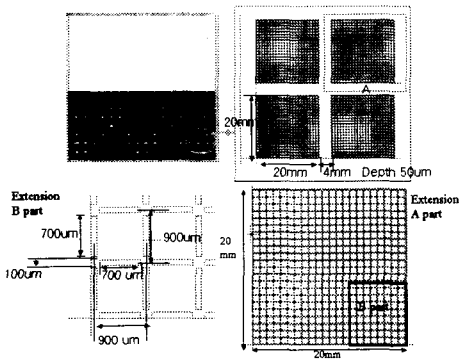


Fig. 8 Schematic of CMP pad

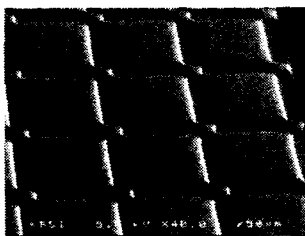
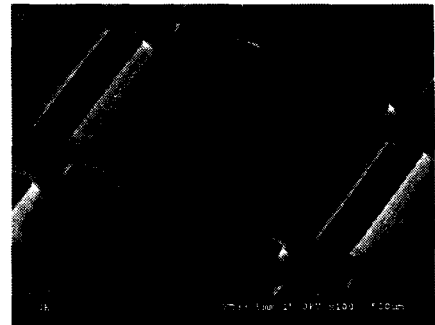
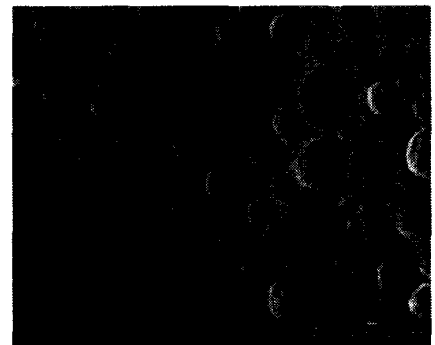


Fig. 9 Silicone mold



(a) New concept pad



(b) IC1000

Fig. 10 SEM photos of pad surface of new pad and IC1000



(a) Master mold



(b) New concept pad

Fig. 11 Surface profile of new CMP pad

## 5. 결 론

본 논문은 기존의 CMP 패드가 가지는 불균일한 표면을 마이크로 구조물이 균일하게 분포 될 수 있게 개선하였다. 즉 패드 표면의 불균일성에 의해 웨이퍼 연마 시 Uniformity가 악화되는 것을 막으며 또한 패드 표면의 변화에 따른 연마 특성의 변화를 방지 할 수 있다. 본 논문에서 수행된 연구 결과를 정리하면 아래와 같다

- (1) 마이크로 표면 구조물을 갖는 새로운 형태의 CMP 패드를 개발 하였으며 이러한 패드 표면을 제어하는 방법을 이용하여 어떠한 형상의 그루브, 및 마이크로 공극 및 돌기를 제작 할 수 있다
- (2) 마스터 몰드를 제작하는 방법에는 RIE, 마이크로 RP, 포토에칭 방법을 적용 할 수 있으며 그 중에서 대구경의 패드 제작 시 포토에칭 방법이 가장 우수하다
- (3) 소프트 몰드의 재료로 사용되는 실리콘 고무는 이형성과 전사성이 우수한 특성을 가지고 있어 패드에 전사 시 마이크로 구조물에 어떠한 손상도 주지 않고 완벽하게 이형이 된다.
- (4) 본 연구를 활용하면 접촉 면적과 연마율의 관계, 패드 표면의 돌기 형상과 조밀도 그리고 그루브 형태에 따른 CMP 연마 특성을 정형화 할 수 있다

## 후 기

본 논문 수행에 애써주신 일본의 Rodel-Nitta 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. Castellano, H., "CMP Technology : Competition, Products, Markets," The Information Network, williamsburg, pp.21-25, 1997.
2. Hocheng, H., Huang, Y.L. and Chen, L.J., " Kinematic Analysis and Measurement of Temperature Rise on a Pad in Chemical Mechanical Planarization," J. of Electrochemical. Soc.,

Vol. 146, No.11, pp.4236-4239, 1999.

3. Steigwald, J.M., "Chemical mechanical planarization of microelectronic materials," Elsevier, pp.10-15, 1987.
4. Nguyen, V.H., Daamen, R., Kranenburg, H.V., Velden P.V. and Woerlee P.H., " A Physical Model for Dishing during Metal CMP," J of Electrochemical Soc., Vol.150, No.11, pp.689-693, 2003.
5. Chung, S.I., Im, Y.G., Kim, H.Y., Jeong, H.D. and Dornfeld D.A." Evaluation of micro-replication technology using silicone robber molds and its applications," International J.of Machine Tools & Manufacture, Vol.43, pp.1337-1345, 2003.
6. Kim, N.H., Kim, I.P., Kim, S.Y., Seo, Y.J. and Chang, E.G "Effects of Pad Characteristics on Metal CMP," CMP-MIC Conference, pp. 86-89, 2003.
7. Park, K.H., Jeong, Y.S., Kim, H.J. and Jeong, H.D. "A study on groove density of Polishing Pad on Chemical Mechanical Polishing," Proceedings of the KSPE Autumn Annual Meeting , 2003.