

Self-conditioning 고정입자패드를 이용한 CMP

Fixed Abrasive Pad with Self-conditioning in CMP Process

박범영¹, 이현섭¹, 박기현¹, 서헌덕¹, 정해도^{2,a}, 김호윤³, 김형재⁴
(Boumyoung Park¹, Hyunseop Lee¹, Kiyhun Park¹, Heondeok Seo¹, Haedo Jeong^{2,a},
Hoyoun Kim³, and Hyoungjae Kim⁴)

Abstract

Chemical mechanical polishing(CMP) process is essential technology to be applied to manufacturing the dielectric layer and metal line in semiconductor devices. It has been known that overpolishing in CMP depends on pattern selectivity as a function of density and pitch, and use of fixed abrasive pad(FAP) is one method which can improve the pattern selectivity. Thus, dishing & erosion defects can be reduced. This paper introduces the manufacturing technique of FAP using hydrophilic polymers with swelling characteristic in water and explains the self-conditioning phenomenon. When applied to tungsten blanket wafers, the FAP resulted in appropriate performance in point of uniformity, material selectivity and roughness. Especially, reduced dishing and erosion was observed in CMP of tungsten pattern wafer with the proposed FAP.

Key Words : Chemical mechanical polishing, Fixed abrasive pad, Dishing, Erosion, Pattern selectivity, Overpolishing

1. 서론

반도체 디바이스(device) 제조에서 화학기계연마(chemical mechanical polishing: CMP)[1,2]는 웨이퍼 표면의 소자 형성에 따른 지형(topography)의 평탄화(planarization)와 gap fill 공정 후 전연막, 금속배선 등의 잔류 재료를 제거하는 공정으로 널리 적용되고 있다[3].

CMP 공정에서 과다연마(overpolishing)는 웨이퍼 전면에 걸린 패턴(pattern)에서 잔류 재료의 제거에 필수 요건이며 과다연마 시간은 패턴 선택비(pattern selectivity)에 의해 결정된다[4,5]. 하지만

과다연마는 CMP 후의 디싱(dishing) 및 에로전(erosion) 같은 결함을 발생시키는 중요한 원인이 된다[3-5]. 따라서 이러한 디싱과 에로전 결함을 감소시키기 위해서 다양한 방법이 제시되고 있으며, 그 중 고정입자패드(FAP: fixed abrasive pad)의 CMP 적용을 들 수 있다[6].

본 논문은 수용성(hydrophilic) 고분자를 이용한 고정입자패드에 대한 특성 및 CMP 결과에 대해 언급하고자 한다. 일반적으로 수용성 고분자는 수용액(aqueous solution) 상에서 고분자 체인(chains)으로 물이 침투(penetration)하기 때문에 팽창(expansion)하게 되며, 이러한 현상을 팽윤(swelling) 현상이라 부른다. 팽창된 고분자는 패드(pad)와 웨이퍼(wafer) 사이의 마찰력에 의해 쉽게 제거되며 이때 수용성 고분자에 구속되어 있던 연마입자(abrasive)가 CMP에 참여함으로써 재료를 제거하게 된다[7]. 따라서 이러한 팽윤 특성은 고정입자패드를 사용한 CMP에서 가장 중요한 인자로 작용하게 된다. 본 연구는 반도체 디바이스에서 수직배선으로 사용되는 텅스텐(tungsten)에 대한 CMP에 적용할 수 있는 고

1. 부산대학교 정밀기계공학과
2. 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소
(부산시 금정구 장전동 산 30)
3. 동부아남반도체
4. UC Berkeley
a. Corresponding Author : hdjeong@pusan.ac.kr
접수일자 : 2005. 1. 27
1차 심사 : 2005. 3. 14
심사완료 : 2005. 3. 21

정입자패드를 제작하였으며, 재료선택비(material selectivity), 연마 후의 웨이퍼 표면 거칠기(roughness), 연마제거율(removal rate), 연마균일도(uniformity) 평가를 통해 패드의 성능을 평가하였다. 특히, 고정입자패드의 가장 큰 특징인 평탄화 특성으로 산화막 에로전(oxide erosion), 텅스텐 디싱(tungsten dishing)의 감소를 확인하였다.

2. 수용성 고분자를 이용한 고정입자패드

2.1 Self-conditioning 고정입자패드

일반적인 CMP 공정에서 컨디셔닝(conditioning) 공정은 거친 패드 표면을 유지하며 마이크로 기공(micro-pore)의 눈막힘(glazing) 현상을 방지함으로써 그림 1과 같이 연마제거율의 감소를 억제하는 역할을 한다.

이러한 개념과 비교하여 문헌 연구에서 나타난 고정입자패드를 사용한 CMP에서 컨디셔닝 공정은 패드 상에 존재하는 함침된(embedded) 연마입자 패드와 웨이퍼 사이의 마찰에 의해 패드 표면 위로 원활하게 공급되는 것을 의미한다. 여기서 컨디셔닝은 웨이퍼 표면에 형성되어 있는 패드의 각진 부분(edges)에 의해 이루어진다[8,9]. 하지만, 연마시간에 따라 패드의 형상이 완만해지고 이에 따라 컨디셔닝 효율은 상당히 감소를 하게 된다. 따라서 이러한 고정입자패드의 컨디셔닝은 CMP 공정에서 부적합할 것으로 보여진다.

따라서 본 논문은 보다 효율적인 고정입자패드의 컨디셔닝 정의에 접근하기 위하여 수용성 고분자를 사용하였다.

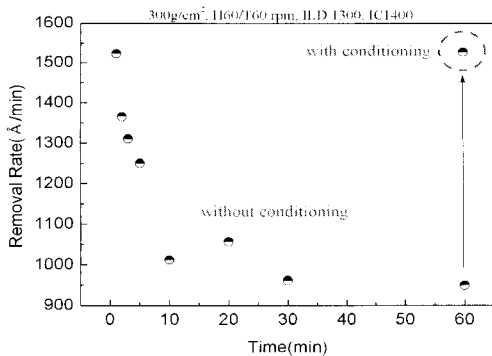


그림 1. 시간에 따른 연마제거율과 컨디셔닝.
Fig. 1. Removal rate as a function of time without the conditioning process.

수산기(hydroxyl group: -OH), 카르복실기(carboxyl group: -COOH), 카르보닐기(carbonyl group: -CO), 아미노기(amin group: -NH₂)와 같은 친수성 라디칼(radical)을 가지는 친수성 고분자들은 물과 접촉하게 되면 물분자를 끌어당기는 특성을 가진다 [10]. 이에 물 분자의 침투(permeation)에 의해 고분자 체인(chains)은 그림 2와 같이 팽창하게 되며 고분자들 간의 결합력(bonding strength)은 약해진다.

이러한 팽윤 메커니즘으로 패드와 웨이퍼 사이에 발생하는 마찰력은 고정입자패드 표면에서 변화된 고분자 층(layer)을 쉽게 제거할 수 있으며, 이 때 연마입자는 CMP에 원활히 참여하게 된다. 이러한 현상을 제작된 고정입자패드의 self-conditioning이라 한다.

텅스텐 CMP에 사용될 고정입자패드는 연마입자로 알루미늄(Al₂O₃)를 사용하였고, 폴리에틸렌글리콜(PEG : polyethylene glycol), 폴리에틸렌 글

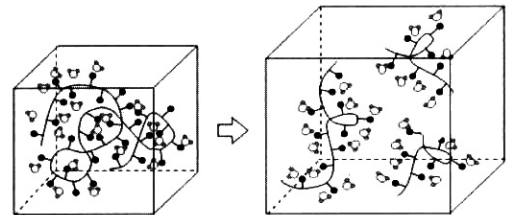


그림 2. 수용성 고분자의 팽윤 현상 개념도.
Fig. 2. Schematic diagram of swelling in hydrophilic polymers.

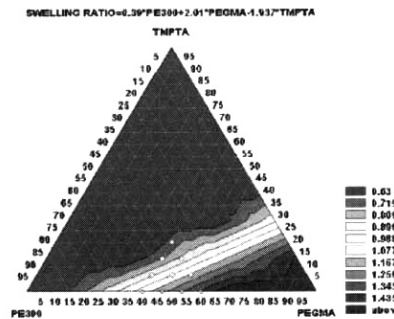


그림 3. 고분자 조합에 따른 팽윤 특성.
Fig. 3. Swelling ratio dependence on the formulation ratio of polymers.

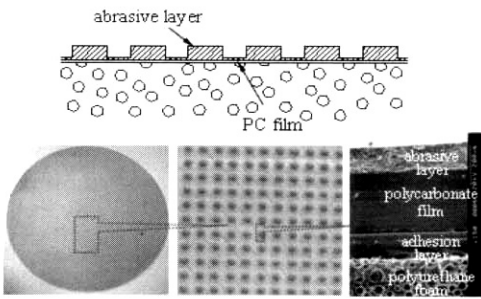


그림 4. 알루미나 연마입자가 포함된 제작된 고정 입자패드.

Fig. 4. Fixed abrasive pad embedded with alumina.

리콜 메타아크릴레이트 (PEGMA : polyethylene glycol monomethacrylate), 트리메틸프로판 트리메타아크릴레이트 (TMPTA : trimethylpropane trimethacrylate) 3가지의 수용성 고분자를 연마입자를 고정시키는 바인더(binder)로 사용하였다.

그림 3은 팽윤 비율(swelling ratio)이 수용성 고분자들의 혼합비에 의존함을 보여주고 있으며, PEGMA가 지배적인 인자(factor)로 작용하고 있다. 그림 4는 제작되어진 고정입자패드를 보여주고 있다.

2.2 고정입자패드의 Blanket 웨이퍼 연마 특성

제작된 고정입자패드를 이용하여 텅스텐 Blanket 웨이퍼에 대한 CMP를 실시하였다. 슬러리(slurry)를 대신할 화학액(chemicals)의 산화제(oxidizer)는 텅스텐 CMP 베커니즘[11]에 따라 낮은 농도(concentration)에서 연마제거율을 확보할 수 있는 H_2O_2 와 $Fe(NO_3)_3$ 의 2종 산화제를 선택하였다[12]. 실험 조건은 압력 300 g/cm^2 , 속도 Head 60/Table 60 rpm이며 지앤피테크놀로지(주) POLI400 CMP 장치를 사용하였다.

먼저, 텅스텐 박막에 대한 희생층(barrier layer)로 사용되는 Ti, TiN과 절연막으로 사용되는 TEOS에 대한 연마제거율은 표 1과 같다. 실험 결과, 희생층의 재료선택비(material selectivity)는 W:Ti, W:TiN이 1.6:1, 2.7:1로 양호하며 TEOS에 대해서는 43:1로 큰 재료선택비를 가짐으로써 연마중점 재료에 대한 좋은 특성을 보이고 있다.

또한 AFM(atomic force microscope)을 이용하여 CMP 후 텅스텐 박막의 표면거칠기를 측정한 결과 Ra 0.37 nm, Rq 0.5 nm이며 표면 상태는 그림 5와 같다. 텅스텐 박막의 표면은 세정상태가 나빠 연마

표 1. 희생층과 절연막의 연마제거율.

Table 1. Removal rate of barrier and oxide layer.

	W	Ti	TiN	TEOS
Removal Rate ($\text{\AA}/\text{min}$)	953	593	345	22

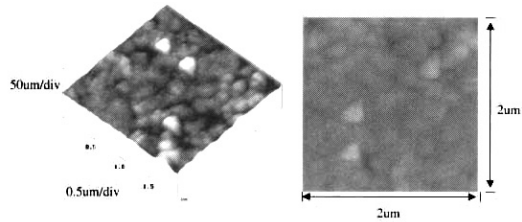


그림 5. CMP 후 텅스텐 박막 표면알루미나 연마 입자가 포함된 제작된 고정입자패드.

Fig. 5. AFM image of polished tungsten wafer.

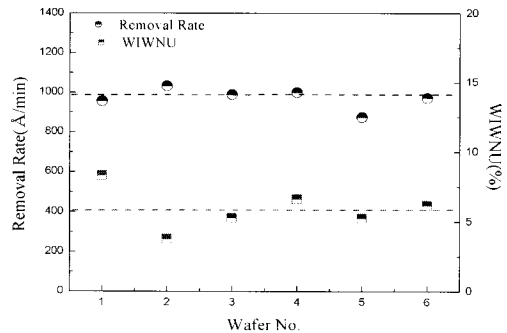


그림 6. Self-conditioning 특성을 가지는 고정입자 패드의 연마제거율과 연마불균일도.

Fig. 6. Removal rate and WIWNU of the fixed abrasive pad with self-conditioning.

입자에 의해 하얗게 보이는 높은 부분이 보이지만, 산화제에 의한 핀홀(pin hole)은 발생하지 않음을 볼 수 있다.

그림 6은 고정입자패드를 적용한 텅스텐 웨이퍼의 연마제거율과 연마불균일도(WIWNU: within wafer non-uniformity)를 나타내고 있다. 평균 연마제거율은 $953\text{ \AA}/\text{min}$ 로 상용 슬러리와 패드를 사용하였을 경우 보다 낮지만, 연마불균일도는 5%(1 σ) 정도로 연마시간 250 min에 걸쳐 양호한 패드 특성과 수명을 보여준다. 결과적으로 제작된 수용성 고분자를 이용한 고정입자패드의 self-conditioning 특성을 확인할 수 있다.

3. 고정입자패드의 평탄화 특성

3.1 텅스텐 Pattern 웨이퍼 실험

제작된 고정입자패드를 텅스텐 패턴 웨이퍼에 대한 CMP에 적용하여, 텅스텐 CMP에서 사용되는 일반적인 슬러리 MSW2000TM과 패드 IC1400TM를 이용한 CMP와 디싱 및 에로전 결합 정도를 비교 평가하고자 한다.

실험에 사용된 텅스텐 패턴 웨이퍼(SEMATECH wafer)는 직경 200 mm 웨이퍼를 CMP 후 평가한 20 mm×20 mm 다이(die)가 중앙에 위치하도록 40 mm×40 mm 크기로 다이싱(dicing)하여 사용하였다. 표 2은 실험조건을 보여주고 있다. 실험 조건에서 인마 압력, 속도, 슬러리 유량은 각 CMP 방법에 대해 동일하게 적용하였다.

표 2. 실험 조건.

Table 2. Process conditions.

	CMP(I)	CMP(II)
pressure	300 g/cm ²	300 g/cm ²
velocity	H60/T60 rpm	H60/T60 rpm
flow rate	150 cc/min	150 cc/min
conditioning	Diamond	N/A
pad	IC 1400 TM	fixed abrasive pad
slurry	MSW2000 TM (Alumina) (KIO ₃ based)	H ₂ O ₂ 5 wt% Fe(NO ₃) ₃ 25 ppm H ₃ PO ₄ 0.1 wt%
pH	3.9	2.5(buffer KOH)

3.2 텅스텐 CMP 결과

각 CMP 방법으로 텅스텐 패턴 웨이퍼의 연마를 실시하였다. 디싱 결합은 에로전이 발생한 산화막을 기준으로 평가되므로, 우선적으로 배선과 배선을 분리시키면서 절연막 역할을 하는 산화막에 대해 에로전 현상을 비교하였다.

에로전은 연마 중점인 산화막의 두께가 초기 두께에서 감소하는 것으로 나노스펙(Nanospec: spot size 8 μm)을 이용하여 각 산화막 패턴에 대해 두께를 측정하여 계산하였다.

그림 7은 각 CMP 방법에 대해 패턴의 피치(pitch)와 밀도(density)에 따른 에로전을 나타낸 것이다. 여기서 패턴의 피치 및 밀도는 산화막 패턴 위에 증착된 텅스텐에 대한 값이다. 폴리우레탄 재질의 IC1400 패드와 MSW2000 슬러리를 이용한 텅스텐 CMP에서는 패턴의 밀도와 피치가 작을수록 에로전이 증가하며, 과다연마시간이 증가하면 전체적으로 에로전이 증가한다. 그러나 본 연구에

서 제작된 고정입자패드와 화학액을 이용한 텅스텐 CMP의 경우, 에로전은 패턴 밀도, 피치, 과다연마시간에 거의 영향을 받지 않는 향상된 특성을 보이고 있다.

디싱의 평가는 연마중점 이후 텅스텐 배선에 대한 피치 및 밀도로 이루어졌다. 그림 8(a), (b)는 각 CMP 방법에서 패턴의 밀도와 피치에 대한 디싱 발생 정도를 나타낸 것이다. 디싱량은 100 % 과다연마가 이루어진 각 시편에 대해 에로전이 발생한 산화막과 텅스텐 배선의 상대 단차들 형상 측정기 WYKO에 의해 측정하여 계산되었다.

텅스텐 배선의 피치 및 밀도에 따른 디싱은 일반적인 텅스텐 CMP와 비교하여 고정입자패드와 화학액을 사용한 CMP에서 월등히 그 발생량이 적음을 볼 수 있다. 이와 같이 디싱은 에로전이 발생한 산화막을 기준으로 평가되며 배선의 단면적이

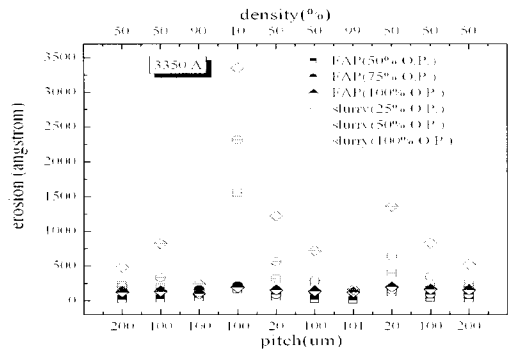
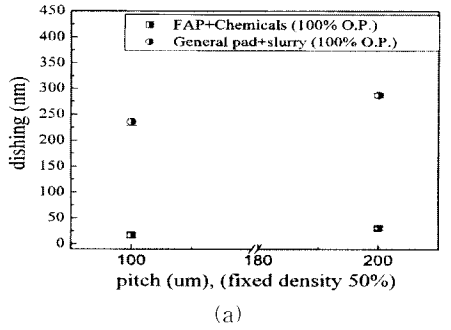


그림 7. 패턴의 피치와 밀도에 따른 에로전: CMP (I), (II).

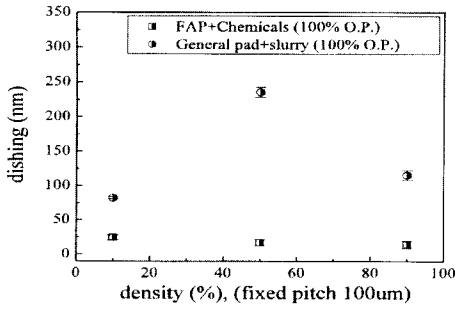
Fig. 7. Erosion as a function of pitch and density in CMP(I), (II).

작아지는 현상이다. 본 실험에서 일반적인 CMP에 의한 텅스텐 배선의 단면적은 100 % 과다연마에 의한 에로전 발생을 감안한다면 크게 얇아졌음을 알 수 있다.

이와 같은 디싱 현상과 관련하여 그림 9(a), (b)는 텅스텐의 밀도가 90 %인 패턴 부(총 길이 3000 μm)에서 각 CMP 후의 산화막의 두께를 측정하여 가공된 형상을 나타낸 것이다. 일반적인 텅스텐 CMP의 경우 밀집된 패턴 부가 주변 부에 대해 과다연마시간에 걸쳐 크게 침하(recess)하는 것을 볼 수 있다. 그러나 고정입자패드를 이용하였을 경우는 패턴 부 전역에 걸쳐 산화막 두께가 일정하게 유지되며, 과다연마시간이 증가하여도 산화막 두께



(a)



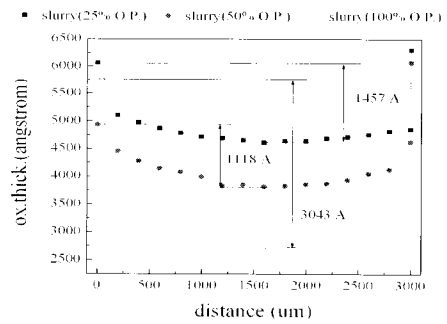
(b)

그림 8. 패턴의 피치(a)와 밀도(b)에 따른 디싱.

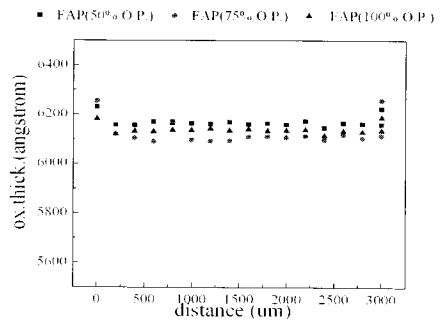
Fig. 8. Dishing as a function of pitch (a) and density (b).

와 그 가공 형상은 대략 200 Å 범위에서 일정하게 유지되고 있다.

디싱 및 에로전 결함의 근본 원인은 웨이퍼와 칩의 측면에서 패턴 크기, 간격, 밀도가 다르기 때문에 CMP 대상 재료의 과소연마부를 제거하기 위해 과다연마를 실시하는 과정에서 발생하게 된다. 텅스텐 CMP에서 고정입자패드 적용은 CMP 중 초기 패턴에서부터 연마종점 이후까지 패턴에 대한 형상선택비(pattern selectivity)가 좋은 것으로 보인다[7]. 즉, 칩 내에 모든 부분이 균일하게 가공되기 때문에 과다연마시간을 줄일 수 있으며 이에 따른 디싱 및 에로전 결함도 줄일 수 있다는 것이다. 형상선택비에 영향을 주는 인자는 연마입자의 농도, 패드 표면 상태, 재료선택비, 슬러리의 유체 유동, 압력, 속도와 같은 CMP 공정 변수 모두가 될 수 있다[13]. 하지만 고정입자패드의 이러한 특징은 여러 인자들 중 연마입자의 농도에 크게 관계하며 연마에 참여하는 연마입자가 자유입자를 사용하는 슬러리에 비해 월등히 적기 때문이라 보여진다.



(a)



(b)

그림 9. 밀집된 패턴에서의 표면 프로파일: (a) 일반적인 CMP, (b) 고정입자패드를 이용한 CMP.

Fig. 9. Surface profile across pattern: (a) general CMP, (b) CMP using the fixed abrasive pad.

4. 결론

본 연구는 수용성 고분자를 이용한 고정입자패드를 제작하여 텅스텐 CMP에 적용하였다. 수용성 고분자의 팽윤 성질은 self-conditioning 특성을 가지는 고정입자패드를 가능하게 하였다. 결과적으로 제작된 고정입자패드는 추가적인 컨디셔닝 공정이 필요 없이 CMP 공정 동안 연마제거율을 일정하게 확보하게 해주었다. Blanket 웨이퍼에 대한 실험으로 양호한 연마균일도, 재료선택비, 가공품위를 확인하였으며, 특히 자유입자를 사용하는 일반적인 CMP 방법과 비교하여 고정입자패드는 좋은 형상선택비 때문에 디싱 및 에로전 결함은 패턴의 크기와 밀도, 과다연마시간에 거의 관계하지 않았으며 감소함을 볼 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 김상용, 서용진, 이우선, 이강현, 장의구, “슬러리와 패드 변화에 따른 텅스텐 폴리그 CMP 공정의 최적화”, 전기전자재료학회논문지, 13권, 7호, p. 568, 2000.
- [2] 김상용, 서용진, 이우선, 장의구, “실리콘 웨이퍼위에 증착된 실리케이트 산화막의 CMP 슬러리 오염 특성”, 전기전자재료학회논문지, 13권, 2호, p. 131, 2000.
- [3] J. M. Steigerward, R. Zirpoli, S. P. Murarka, D. Price, and R. Gutmann, “Pattern geometry effects in the chemical mechanical polishing of inlaid copper structures”, J. Electrochemical Society, Vol. 141, No. 10, p. 2842, 1994.
- [4] K. Smekalin and D. Fertig, “Microscale dishing effect in a chemical mechanical planarization process for trench isolation”, J. Electrochemical Society, Vol. 143, No. 12, p. 1281, 1996.
- [5] D. A. Hansen, G. Moloney, and M. E. Witty, “Copper CMP: The role of barrier metal and its effect on dishing and oxide erosion”, Electrochemical Society Proceedings Series, Vol. 99-37, p. 136, 2000.
- [6] R. S. Subramanian and R. M. Appat, “A model of chemical mechanical planarization of patterned wafers with fixed abrasives”, Electrochemical and Solid-state letters, Vol. 4, No. 12, p. G115, 2001.
- [7] H. Y. Kim, B. Y. Park, H. D. Jeong, D. A. Dornfeld, and S. I. Lee, “Applications of fixed abrasive pad using hydrophilic polymers in STI CMP”, Annual Meeting Proceeding in ASPE, p. 661, 2002.
- [8] V. Koinkar, R. Golzarian, Q. Luo, M. VanHanehem, J. Shen, and P. Burke, “Chemical mechanical planarization of copper interconnects using fixed abrasive polishing pad”, Proceeding of 5th International CMP-MIC Conference, p. 58, 2000.
- [9] A. Romer, T. Donohue, J. Gagliardi, F. Weimar, P. Thieme, and M. Hollatz, “STI CMP using fixed abrasive: demands, measurement methods and results”, Proceeding of 5th International CMP-MIC Conference, p. 265, 2000.
- [10] L. H. Sperling, “Introduction to Physical Polymer Science”, John Wiley & Sons, p. 147, 1992.
- [11] F. B. Kaufman, D. B. Thompson, D. J. Pearsons, and M. B. Small, “Chemical mechanical polishing for fabricating patterned W metal features as chip interconnects”, J. Electrochemical Society, Vol. 138, No. 11, p. 3460, 1991.
- [12] Samsung Electronics Co., Ltd., “Chemical Mechanical Polishing Slurry”, Korea Patent, No. 2001-0037315.
- [13] H. Y. Kim, H. J. Kim, and H. D. Jeong, “Development of an abrasive Embedded pad for dishing reduction and uniformity enhancement”, J. of KPS, Vol. 37, No. 6, p. 945, 2000.