

Cu CMP에서 Large sized particles이 연마속도에 미치는 영향

송재훈, 엄대홍, 홍의관, 강영재, 박진구
한양대학교 금속재료공학과

Effects of Large Sized Particles on Removal Rate during Cu CMP

Jae-Hoon Song, Dae-Hong Eom, Yi-Koan Hong, Young-Jae Kang and Jin-Goo Park

Department of Metallurgy and Materials Engineering, Hanyang University,
Ansan, 426-791, Korea

Abstract

실제 Cu CMP 공정이 진행되는 동안 연마입자의 응집현상을 관찰하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 인위적으로 첨가한 large particle들이 공정 중에 발생하는 응집입자라 가정하고 각 공정에 따른 연마속도와 friction force를 측정하여 large particle를 첨가하지 않은 슬러리와 비교 평가해보았다. large particle를 첨가한 슬러리의 경우에 각 공정변수에 따라 연마속도와 friction force가 작아짐을 관찰하였다. 즉, 슬러리 내에 응집현상이 발생하게 된다면 large particle이 연마의 방해 인자로 나타남을 관찰할 수 있었다.

Key words: Cu CMP, Large particle, Removal Rate, Friction Force

1. 서론

최근 반도체 선폭의 크기가 더욱 미세화되고 있으며 디바이스가 고집적화 됨에 따라서 다층배선 구조를 필요로 하게 되었다.[1] 다층 배선화와 관련한 CMP (Chemical Mechanical Planarization) 공정은 웨이퍼와 패드 두 면의 상대운동과 상대 운동면 사이에 슬러리를 공급함으로써 연마가 이루어진다. 따라서 박막과 슬러리 내의 화학액과의 반응에 의해 반응 표면층이 형성되고, 이 층이 슬러리 내에 포함되어 있는 abrasive particle에 의해 제거된다.[2] 즉, CMP 공정은 슬러리가 개입된 두 면 사이의 상대운동과 이에 의한 재료의 제거이기 때문에 패드와 웨이퍼의 접촉 계면에서 일어나는 현상이 연마에 강한 영향을 미치게 된다.

CMP 공정은 배선재료를 기존의 Al에서 낮은 저항과 높은 electro-migration 저항을 가진 Cu로 대체됨에 따라서 더욱 주목 받고 있다.[3,4] 하지만 Cu는 Oxide나 Tungsten 보다 soft하기 때문에 공정중에 scratch 발생이 더 쉽게 발생한다. 또한 CMP의 removal rate를 결정하는 주된 요인 중의 하나는 연마입자의 크기와 입자의 분포이기 때문에 연마 입자의 응집현상은 공정 중에 악영향을 주게 될 것이다. 하지만 실제 CMP 공정이 진행되는 동안에는 연마입자의 응집현상을 관찰하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 인위적인 large particle를 첨가하여

particle들이 실제 공정상의 응집입자라고 가정하여 실험을 진행시켰다.

2. 실험

웨이퍼는 4-inch Cu disk를 실험에 사용하였으며, slurry에 첨가되는 abrasive particle로는 주된 입자로 작용하는 γ -alumina와 large particle로 α -alumina가 사용되어졌다. complexing agent로는 citric acid, oxidant로는 H_2O_2 를 사용하였으며 NH_4OH 를 통해서 pH 6으로 적정하였다. 슬러리에 abrasive와 additives를 모두 첨가한 후에는 교반기를 이용하여 1분간 mixing한 후 실험을 하였다. Table 1.에 실험에 사용된 wafer와 slurry의 조성에 대해 요약되어 있다. 실험에 사용된 particle 측정의 경우, laser 빛이 투과할 수 있을 정도의 농도로 희석시켜 LEZA-600을 이용하여 particle의 mean particle size와 distribution을 측정하였다. friction force를 측정하기 위해서 poli-500 (G&P Tech.)을 사용하였다. 3가지 공정조건 (high pressure/low speed, middle pressure and speed, low pressure/high speed)에서 각각의 friction force 값을 측정하였으며 Table 2.에 각 공정조건을 나타내었다. 공정시 $P \cdot V$ 는 일정하게 유지하였다. Polishing Pad로는 IC-1400 k-groove (Rodel co.) , conditioning 방법으로는 ex-situ diamond disk

(Shin Han co.)을 사용하였다. Removal Rate는 4-inch Cu disk의 무게를 측정하여 변환하였으며, Cu 표면을 관찰하기 위해 Cu wafer를 각 공정별로 실험한 후 광학 현미경을 이용하여 scratch를 관찰하였다.

Table 1. Materials (wafer and slurry additives)

Substrate	4-inch Cu disk
Abrasive particle	γ -alumina(Deggusa co.<13 nm)
Large particle	α -alumina (>300 nm)
Complexing agent	Citric acid (Aldrich, 99%)
Oxidant	H ₂ O ₂ (Dong woo co.)
pH Control	NH ₄ OH at pH 6
Composition	Total abrasive 3 wt% + Citric acid 0.15 M + H ₂ O ₂ 10 Vol% at pH 6

Table 2. Conditions for Frictional Polisher

	Pressure(psi)	Plate Speed(rpm)
High pressure and low speed	7	50
Middle pressure and speed	4.2	83
Low pressure and high speed	1.4	250
Head speed	50 rpm	
Three condition	Constant P*V	
Slurry Flow rate	120 ml/min	
Polishing time	1 min	
Conditioning	Ex-situ conditioning	

3.결과 및 고찰

슬러리의 연마입자로 사용되는 γ -alumina와 large particle로 사용된 α -alumina의 zeta potential을 그림 1,2에 나타내었다. 각각의 particle은 pH에 따라 zeta potential이 각각 negative한 값으로 증가하였으며 등전위점(IEP, isoelectric point)은 pH 9.35, 9.21에서 측정되었다. pH9 이전에는 그림에서와 같이 positive charge를 띠는 양상을 보이지만 citric acid를 첨가하게 되면서 negative charge로 변함을 알 수 있다. 즉, citric acid가 γ,α -alumina 표면의 charge를 변화게 하는 역할이 있음을 알 수 있다. 그림 3은 γ -alumina 3 wt% , γ -alumina 2.9+ α -alumina 0.1 wt% 슬러리의 연마 입자의 크기를

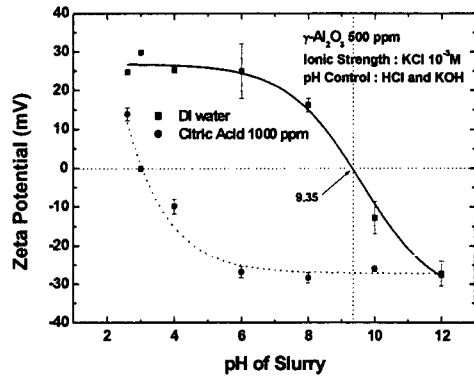


그림 1. pH변화에 따른 γ -alumina particle의 Zetapotential

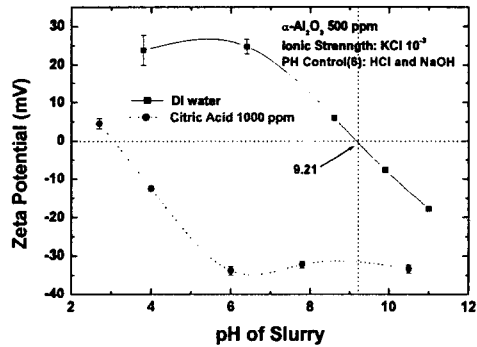


그림 2. pH변화에 따른 α -alumina particle의 Zetapotential

wt% 에 따라서 나타낸 측정 결과이다. 이 그래프에서는 α -alumina 0.1 wt%를 첨가하였을 때 double peak가 나타난 것은 초기 입자 size가 큰 α -alumina를 첨가함으로써 그 슬러리에는 large particle이 소량 분포하고 있음을 나타내주고 있다. 또한 위 그림에서는 α -alumina를 첨가해서 large particle을 얻었지만 왼쪽에 나타난 큰 peak가 γ -alumina 3 wt%를 첨가했을 때 peak와 동일한 크기의 peak를 유지하였다. 따라서 연마의 주가 되는 particle은 유지하면서 슬러리 내에 large particle을 포함하고 있음을 알 수 있었다. 실제 공정상에서는 particle의 응집현상을 직접 관찰 할 수 없기 때문에 실험에서 얻어진 large particle을 이용하여 슬러리의 응집현상이 removal rate과 pad와 wafer 두면 사이에 나타나는 friction force에 어떠한 영향을 미칠 것인지에

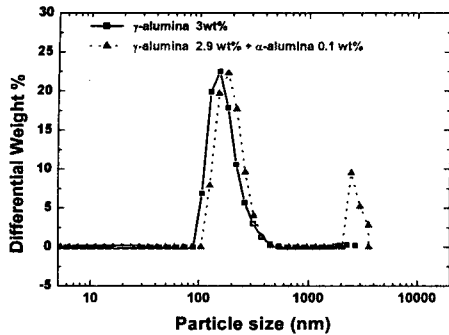


그림 3. γ -alumina 3 wt%, γ -alumina 2.9+
 α -alumina 0.1 wt%의 입도 분포

대한 추후 실험을 해보았다.

그림 4.는 γ -alumina 3 wt%, γ -alumina 2.9+
 α -alumina 0.1 wt% 슬러리로 연마하였을 때의
removal rate를 나타내고 있다. 그림 4.에서와 같이
 α -alumina를 첨가 하였을 때 removal rate이 감소함을
관찰 할 수 있다. 이는 α -alumina 즉, large particle이
연마에 방해할 하는 인자임을 나타내주고 있다. 따라서
공정상에서 슬러리의 응집이 발생된다면
removal rate에 악영향을 미칠 것이다. 또한 각 공
정 (high pressure/low speed, middle pressure and
speed, low pressure/high speed)에따라 removal
rate의 차이를 나타내었다. α -alumina를 첨가 하였
때와 그렇지 않은 경우 모두 high pressure/low
speed 공정 조건 일 때가 가장 큰 removal rate이
측정됨을 보여주고 있다.

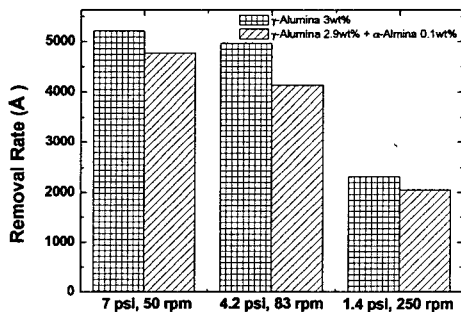


그림 4. 3가지 공정 조건에서의 슬러리에 따른
removal rate

그림 5. 에서는 γ -alumina 3 wt%, γ -alumina 2.9+ α -
alumina 0.1 wt% 슬러리로 연마 중에 검출되는
friction force 값을 나타낸 그래프이다. 공정별 조건

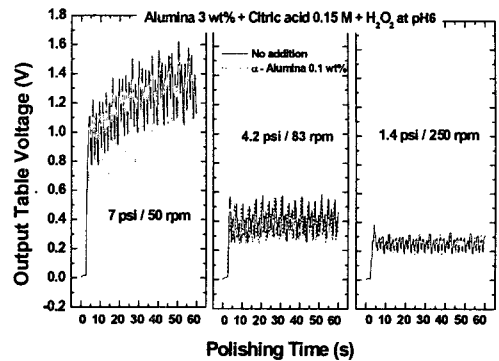


그림 5. 3가지 공정 조건에서의 슬러리에 따른
friction force

을 3가지로 나누고 1분간 실험을 하였는데 각 공
정의 Output Table Voltage (friction force) 값을 보
게 되면 7 psi/50 rpm 인 공정조건에 서 friction
force 값이 가장 크게 나왔으며 1.4 psi/250 rpm 일
때 작은 값이 측정되었다. 이는 위의 removal rate
과 비교하였을 때 같은 경향성을 같음을 알 수 있
다. 즉, friction force값이 크게 되면 removal rate
도 증가함을 관찰 할 수 있다. 그리고 7 psi, 4.2
psi 하중을 주고 실험을 하였을 때 removal rate은
크게 변하지 않았으나 friction force는 상대적으로
크게 변함을 알 수 있었다. 따라서 friction force
가 증가하면 removal rate이 증가하지만 7 psi
경우처럼 너무 큰 하중을 가하면 friction force
값이 커지므로 wafer 표면에 힘이 과도하게 가
중될 수 있으므로 4.2 psi 와 같이 middle pres
sure에서 공정을 수행한다면 removal rate을 유
지한 채 낮은 friction force 값을 갖을 것으로
예상된다. 또한 α -alumina를 0.1 wt% 첨가한
slurry의 friction force를 살펴보면 4.2, 1.4 psi
의 경우에는 γ -alumina 3 wt% 첨가한 slurry의
friction force와 큰 차이가 없었으나 7 psi의 경
우에는 friction force 값이 작아짐을 관찰 할 수
있었다. 즉, large particle (α -alumina)이 slur
ry에 존재한다면 friction force를 감소시키며 연
마에 방해할 하는 인자임을 알 수 있었다. 그림
6.은 wafer 표면의 scratch를 보여주고 있다. (a),
(b),(c) 는 γ -alumina 3 wt% 슬러리를 각 공
정대로 연마한 후의 표면 상태다. (a)가 (b),(c)
에 비해 scratch가 많은 것을 볼 수 있다. 즉 fric
tion force가 커지면 표면에 scratch가 많이 발
생 할 수 있음을 나타내주고 있다. 그림 7. 은
7 psi/50 rpm 같은 공정 조건에서 γ -alumina 3
wt%, γ -alumina 2.9+ α -alumina 0.1 wt% 슬
러리로 연마한 후의 표면 상태다. (b)의 large
particle을

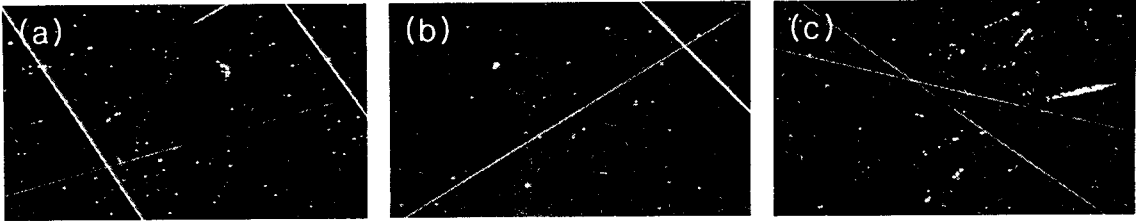


그림 6. γ -alumina 3 wt% 슬러리로 연마후의 각 공정별 광학 현미경 이미지 ;(a) 7 psi/50 rpm,(b) 4.2 psi/83 rpm, (c) 1.4 psi/250 rpm

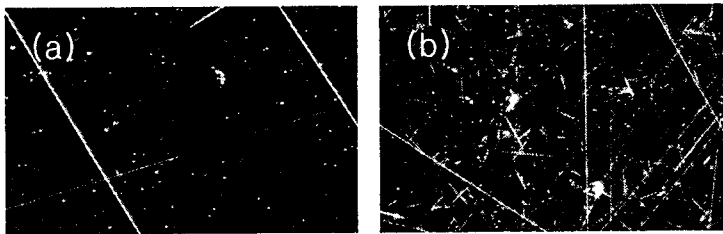


그림 7. γ -alumina 3 wt%, γ -alumina 2.9 + α -alumina 0.1 wt% 슬러리로 7 psi/50 rpm 공정에서의 광학 현미경 이미지 ;(a) 7 psi/50 rpm(γ -alumina 3 wt%), (b) 7 psi/50 rpm (γ -alumina 2.9 + α -alumina 0.1 wt%)

첨가한 슬러리로 공정을 하였을 때 표면에 많은 scratch가 발생함을 관찰 할 수 있다. 따라서 응집 현상이 발생하게 되면 표면에 removal rate을 감소 시키고 동시에 scratch를 다량 유발시켜 표면 결함을 일으킬 것 이다.

4.결론

공정상에서 일어나는 슬러리 응집현상으로 인하여 표면 결함이 일어나는 것으로 인식되고 있다. 하지만 공정이 진행되는 동안에 응집현상을 관찰하기 어렵다. 따라서 인위적인 large particle을 첨가해서 실험을 해본 결과 removal rate과 pad와 wafer 두면 사이에 작용하는 friction force 값이 차이가 나며 표면에 많은 scratch를 유발함을 관찰 할 수 있었다. 즉, large particle (α -alumina)을 첨가하게 되면 removal rate이 감소하는데 이는 α -alumina가 연마에 방해를 하는 인자임을 나타 주고 있다. 따라서 슬러리 내에 응집현상이 발생하게 된다면 이 입자들이 removal rate을 방해할 것 이다. 또한 각 공정 (high pressure/low speed, middle pressure and speed, low pressure/high speed)에서의 removal rate이 같지 않음을 관찰 할 수 있었다. α -alumina를 첨가 하였 때와 그렇지 않은 경우 모두 high pressure/low speed 공정 조건 일 때가 가장 큰 removal rate이 측정 되었다. 그리고 공정 중에 일

어나는 pad와 wafer 두면 사이의 friction force를 측정하였을 때 하중에 따라 friction force값이 변하며 removal rate에도 영향을 미침을 알 수 있었다. 즉, 7psi 공정조건 일 때가 가장 큰 friction force 값과 큰 removal rate을 관찰 할 수 있었다. 또한 α -alumina를 0.1 wt% 첨가한 slurry의 friction force를 살펴보면 7 psi의 공정 조건에서 friction force 값이 감소함을 관찰 할 수 있었다. 이는 α -alumina로 인하여 friction force 값이 감소하고 removal rate이 작아지며 많은 scratch를 일으킴을 알 수 있다. 따라서 공정상에서 슬러리의 응집이 발생된다면 removal rate에 악영향을 미치며 Cu 표면에도 많은 scratch가 발생 할 것 이다.

참고 문헌

- [1] C.Y. Chang and S.M. Sze, "ULSI Technology", McGraw-Hill (1996)
- [2] F.Kaufman, D. Thompson, R. Broadie, M. Jaso, W.Guthrie, D. Pearson, M. Small, J. Electrochem. Soc. 138 (1991) 3460
- [3]T. Nitta, T. Ohmi, T. Hoshi, S. Sakai, K. Sakaibara, S.Imai, T.Shibara, J.Electrochem. Soc. 140 (1993) 1131
- [4] J.M. Steigerwald, S.P. Murarka, R.J. Gutmann, D.J. Duquette, Master. Chem. Phys. 41 (1995)217.