

CMP 공정중 전기화학적 방법과 마찰력을 이용하여 Cu wafer와 Disc의 특성 비교

강영재, 엄대홍, 송재훈, 박진구
한양대학교 금속재료공학과

Comparison of Cu wafer and Disc using the electrochemical and Friction method during the CMP (Chemical Mechanical Planarization)

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

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

Abstract

Copper는 낮은 저항률과 높은 Electromigration 저항 때문에 반도체 소자에 배선 재료로 사용된다. CMP 공정을 이용하여 Cu wafer의 여러 가지 특성을 파악하기에는 wafer의 소모량이 많고 고가의 비용이 예상 되므로, 본 논문에서는 비용절감을 위하여 wafer를 Disc로 대체 하고자 실험을 진행 하였고 Cu wafer와 Disc의 비교 방법은 우선 PM-5 (Genitech. co)장비를 이용 하여 removal rate의 차이점을 알아 보았으며, 서로의 etch rate을 removal rate과 비교 하였다. EG&G 273A를 통하여 Cu wafer와 disc의 corrosion potential과 R_p (Polarization resistance)값을 서로 비교 하였다. 이 논문에서는 이러한 것들을 서로 비교 하여, Cu wafer와 disc에서의 상관관계를 알고자 하였으며, 만약에 Cu wafer와 disc의 특성이 비슷하다면, Cu wafer 대신에 disc를 이용 하여 실험하여도 되는지에 관하여 조사 하였다

Key Words : CMP, Cu wafer, Cu disc, Removal rate

1. 서 론

일반적으로 slurry 와 Pad의 마찰과 Cu의 제거 효율 실험을 하여 결과를 얻기 위해서는 대부분 Silicon Wafer의 전면에 electroplate를 이용 하여 copper로 전면을 덮어진 wafer를 사용해야 된다고 믿고있다. 그러나, 이러한 실험을 하기 위해서 사용 되어지는 Cu wafer의 소모량은 많으며, 그 가격 또한 매우 비싸다. 따라서, 이러한 단점을 극복 하고자 Cu disc에 대한 실험을 수행 하게 되었으며, 만약에, Cu plating된 wafer를 Cu disc로 대신하여 사용할 수 있다면, Cu disc는 연마 (polishing) 하는 동안 여러 번 사용이 가능하기 때문에 Cu wafer를 사용 하였을 때의 소모된 양을 줄일 수 있다[1].

이러한 장점을 때문에 이 논문에서는 Cu disc와 Electroplating된 Cu wafer의 전기화학적인 성질, 각각의 부식되는 속도 (Etch rate), 제거 효율 (Removal rate), Corrosion potential과 Polarization resistance의 비교 실험을 통하여 만약에 Cu 금속

disc와 Cu plating된 wafer의 실험 결과가 유사하다면, 대신 하여 사용할 수 있을 것이다[2,4,5]. 우선, 서로를 비교하기 위해서는 각각을 연마 (polishing) 하였을 경우 제거 효율을 알 수 있는 수식이 필요 하였으며, 부식 속도를 측정 하였을 때도 이를 구할 수 있는 수식이 필요하다. 그래서 제거 효율의 경우 (1) 식을 사용 하여 계산 하였으며[2], 부식 속도의 경우는 (2)식을 이용하여 나온 결과 값을 이용 하여 각각의 값을 측정 하였다[3].

$$\rho = \frac{g}{V} \text{ ----- (1)}$$

ρ 는 Cu의 밀도 값이고, g은 Cu의 변화 하는 질량 값, V는 시편의 부피를 표시하며, 부피에서 두께 값을 구하여 변화를 측정 할 수 있다. 두께의 변화량에 따라서 Cu disc의 제거 효율을 구할 수 있다.

$$t = \frac{g}{\rho \cdot [(A \cdot 2) + (A \cdot 4)]} \text{ ----- (2)}$$

(2)식은 (1)식과 동일 하지만, A는 시편의 양면의 면적을 표현 한 것이고, A'은 시편의 4개의 옆면의 면적을 표시한 것으로써, (1)식과 (2)식을 이용하면 제거 효율과 부식 되는 속도의 값을 계산 할 수 있다.

2. 실험

이 실험에 사용 된 γ -Alumina (Degussa)의 물안에서의 특성은 hydrophilic 이며, BET surface area는 $100 \pm 15 \text{ m}^2/\text{g}$ 이고, 평균 주요 입자 크기는 13 nm, 밀도는 3.2 g/ml의 특성을 가진 것을 사용 하였다.

Citric acid의 특성은 분자 구조식은 $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ 의 구조를 가지고 있으며, 분자량은 192.12이다. slurry의 제조는 γ -Alumina particle 3 wt%에 H_2O_2 5 vol%와 Citric acid 0.15 mol을 첨가 하여 제조 하였으며, pH는 6으로 적정 하였고, pH 적정에는 NH_4OH 를 이용 하였다.

이 실험에 사용 된 polisher 장비는 PM-5 (Genitech.co), 무게 측정 장비로는 Shimadzu AY 220 Max 220g, 전기화학적인 분석은 EG&G 273A를 사용 하였다. PM-5 (Genitech.co)의 장비를 사용 하여 Cu disc와 wafer의 removal rate을 비교 하였다. 공정 조건은 7psi의 압력을 주고, pad와 head의 rpm은 50rpm으로 두개의 속도를 일정 하게 하여 1분간 공정을 실시하였다.

Polishing pad로는 IC-1400 동심원 모양의 k-groove (Rodel co.), conditioning 방법으로는 ex-situ diamond disk (Shin han co.)을 사용 하였다. EG&G 273A의 장비를 이용하여 Cu wafer와 disc의 전기화학적인 상태를 분석 비교 하였으며, Etch rate의 측정은 용액 안에 Cu wafer와 disc를 넣은 후 용액을 stirring을 하면서 측정 하였다.

3. 결과 및 고찰

Cu disc와 wafer의 특성을 비교해 보고자 우선 wafer의 H_2O_2 농도에 따라서 어떤 변화가 있는지 알아보았으며, 그 결과는 그림 1에서 잘 보여 주고 있다. 그림 1에서 보면, Citric acid와 Ammonium citrate 0.15 mol과 γ -Alumina particle 3 wt%를 첨가한 후에 이 두 가지 slurry에서의 경향성을 실험을 통하여 알아보았다. 그 결과 H_2O_2 의 농도가 5 vol%에서 removal rate가 최대값을 가지게 된다는 것을 알았으며, 이 실험 결과의 경향성은 1에서 5 vol%까지는 removal rate이 증가하였으나, 그 이후로는 감소하게 된다는 것을 알았다.

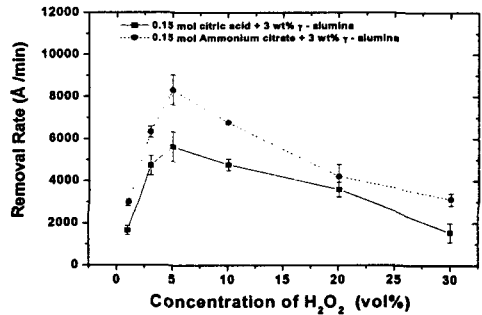


그림 1. H_2O_2 농도의 변화에 대한 Cu wafer의 Removal rate 변화 측정

그림 2는 그림 1과 같은 현상이 Cu disc에서도 생기게 되는지 알아보기 위해서 그림 1번과 같은 실험 방법으로 실험을 하였다

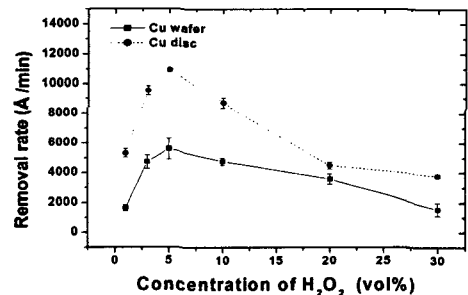


그림 2. H_2O_2 농도의 변화에 대한 Cu wafer & disc의 Removal rate 변화 비교

그림 2에서의 결과는 Cu wafer와 비교 하였을 경우 그림 1번과 비슷한 경향을 보이고 있다. 이러한 실험 결과로 얻을 수 있는 결과는 Cu disc 역시 citric acid 0.15 mol에서 H_2O_2 의 농도변화에 대한 removal rate의 관계는 Cu wafer와 같은 경향을 보인다는 것을 알았으며, 주의 깊게 고려해야할 점은 Cu wafer보다는 removal rate이 더 높다는 것을 알 수 있었다.

그림 3은 H_2O_2 농도별로 Cu wafer와 disc의 etch rate을 비교한 결과이다. 그림 1, 2번의 결과를 보면, H_2O_2 5 vol%에서의 removal rate 값이 제일 높았다는 것을 알 수 있었다. 그래서 다음 실험부터 H_2O_2 농도를 고정 하기 위해서 Cu wafer와 disc의 H_2O_2 농도 변화에 대한 etch rate을 구하여 보았다. 그 결과 1 vol%에서 etch rate이 가장 높았으며, 30 vol%로 갈수록 etch rate이 감소한다는 것을 알게 되었다.

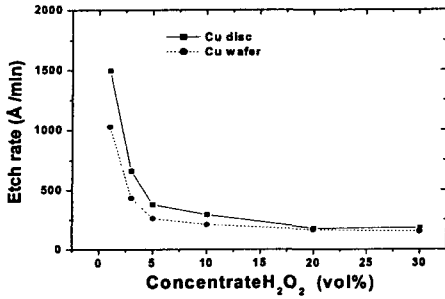


그림 3. H₂O₂ 농도의 변화에 대한 Cu wafer & disc의 etch rate 변화 비교

하지만, 감소를 하더라도 5 vol%까지는 급격히 감소하다가 5 vol% 이하에서는 linear하게 변하게 된다는 것을 알 수 있었다.

그림 1,2,3의 결과는 H₂O₂의 농도를 높게 되면 removal rate도 감소하고, etch rate도 감소하게 되는 것을 알 수 있었다.

Table 1에서는 H₂O₂의 농도 변화에 대한 Cu wafer와 disc의 removal rate, etch rate을 비교 하였으며, 서로의 비율을 알아보았다.

Table 1. H₂O₂의 농도 변화에 대한 Cu wafer와 disc의 removal rate, etch rate의 비교 및 Rr/Er 비교.

Cu	H ₂ O ₂ 농도 (vol%)						
		1	3	5	10	20	30
wafer	Rr	1644	4728	5616	4766	3586	1552
	Er	1028	433	260	208	164	149
Disc	Rr	5325	9529	10930	8688	4484	3783
	Er	1498	660	380	292	177	180
Wafer	Rr/Er	1.6	10.9	21.6	22.9	21.7	10.4
Disc	Rr/Er	3.6	14.4	28.7	29.7	25.3	21.0

Table 1의 결과를 보면 Cu wafer & disc의 removal rate와 etch rate를 비교해 보니 H₂O₂의 농도가 10 vol%에서의 removal rate와 etch rate의 비가 가장 높았다.

그림 4는 Table 1의 결과를 그래프로 그려 보았다. H₂O₂ 농도가 5, 10 vol%를 비교 해 보면, 큰 차이는 없다. 결론적으로는 H₂O₂의 농도가 10 vol%에서의 removal rate / etch rate 비가 높다는 점은 Cu wafer나 disc나 같았다.

그림 5는 EG&G를 이용 하여 Citric acid 0.15 mol에서 H₂O₂의 농도 변화에 따라 Cu disc와 wafer의 corrosion potential 과 R_p (Polarization resistance)의 값을 서로 비교 하였다.

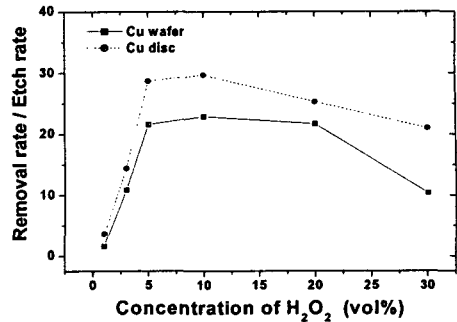


그림 4. H₂O₂의 농도 변화에 대한 Cu wafer와 disc의 Removal rate / Etch rate 비교.

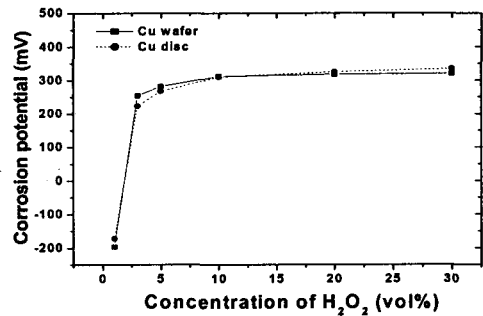


그림 5. H₂O₂의 농도 변화에 대한 Cu wafer와 disc의 corrosion potential 비교

그림 5를 보면 Cu wafer와 Disc의 corrosion potential의 변화가 서로 비슷하게 형성 된다는 것을 알 수 있었다. 1 vol%에서는 Cu wafer와 disc 둘 다 (-) 값의 corrosion potential 값을 가지는 것을 알 수 있었으며, H₂O₂의 농도가 높아질수록 corrosion potential 값은 linear하게 변하게 된다.

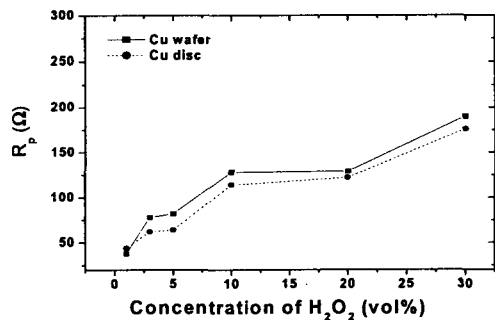


그림 6. H₂O₂의 농도 변화에 대한 Cu wafer와 disc의 R_p (Polarization resistance) 비교

여기서 중요한 점은 Cu wafer와 disc의 corrosion potential의 변화가 거의 일치하게 일어난다는 점이

다. 이러한 결과는 서로의 corrosion potential의 특성에 대해서는 차이가 거의 없다는 것을 알 수 있었다.

그림 6은 Cu wafer와 disc의 R_p (Polarization resistance)의 변화를 구하여 보았다. 그 결과 H_2O_2 농도 변화에 따라서 Cu wafer와 disc의 R_p 의 변화하는 경향성은 비슷하다. 차이점은 Cu wafer가 disc 보다는 R_p (Polarization resistance)값이 크다는 점이다.

이러한 결과는 Cu disc 보다 wafer가 R_p (Polarization resistance)값이 크기 때문에 표면에 passivation layer가 disc보다는 더 두껍게 형성 될 것이라는 예측을 할 수 있었으며, H_2O_2 의 농도가 많아질수록 Cu wafer와 disc 모두 R_p (Polarization resistance)의 값이 증가하는 것으로 보아 passivation layer의 형성이 H_2O_2 의 함유량이 많아 질수록 더 많이 형성 된다는 것을 알 수 있었다. 이 결과로, H_2O_2 의 농도가 많아질수록 passivation layer의 두께 형성이 많다는 것과, 이로 인하여 H_2O_2 의 함유량이 많아질수록 removal rate이 감소 한다는 점을 증명 할 수 있었다.

4. 결 론

이 논문의 목적은 Cu wafer와 disc의 특성을 서로 비교 하여, Cu disc가 wafer의 대체물로 가능한 지를 조사하였다. 그리고, H_2O_2 의 농도에 따라서 두개의 특성을 비교 하였다. 그 결과, Cu disc와 wafer의 H_2O_2 농도에 대한 removal rate은 차이가 있었으나, Cu wafer, disc 모두 H_2O_2 의 농도가 1 vol%부터 5 vol%까지는 removal rate이 증가 하는 것을 보였으나, 10 vol%이후로는 감소하는 경향성은 둘 다 같았다. Etch rate의 경우 1 vol%에서 etch rate이 가장 높았으며, 30 vol%로 갈수록 etch rate이 감소한다는 것을 알게 되었고, Cu wafer와 disc의 경우 etch rate의 경향성은 일치 한다는 것을 알았다. Cu wafer와 disc의 removal rate과 etch rate의 비는 H_2O_2 의 농도가 10 vol%에서 제일 높았으며, EG&G 273A를 이용하여 corrosion potential과 R_p (Polarization resistance)를 비교 해 본 결과 Cu wafer와 disc의 corrosion potential의 변화가 거의 일치하게 일어난다는 점과, 서로의 corrosion potential의 특성에 대해서는 차이가 거의 없다는 것을 알 수 있었다. 다만, Cu wafer가 disc 보다는 R_p (Polarization resistance)값이 큰 것으로 보아 disc 보다는 wafer가 removal rate의 값이 작을 것이라고 생각 되며, 실제로도 그림 2를 보면 wafer보다는 disc의 removal rate이 높다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과들을 정

리해본 결과 Cu wafer와 disc에서 다른 점은 removal rate과 R_p (Polarization resistance)값에서 차이를 조금 보이지만, 나머지 결과에서는 동일하다는 것을 알 수 있었기 때문에 Cu wafer와 disc의 removal rate 값을 보정을 해준다면, Cu wafer 대신에 disc를 사용해도 된다고 판단 되어진다 .

참 고 문 헌

- [1] Z.Li, S. Rader, P. Lefevre, K.Ina and A. Philipossian "Comparison of copper disc and wafer Polishing Processes in of Terms their Kinetic, Tribological and Thermal Characteristics" Abs. 899, 204th Meeting, 2003 The Electrochemical Society.
- [2] T. Du, D. Tamboli, V. Desai, S. Seal " Mechanism of Copper Removal during CMP in Acidic H_2O_2 Slurry" Journal of Electrochemical Society, 151 (4) G230-G235 (2004)
- [3] Jin-Goo Park " Wettability Aspects During Silicon wafer cleaning in Aqueous and Organic systems" doctor of philosophy p 78
- [4] Y. Ein-Eli, E. Abelev, E. Rabkin, D. Starosvetsky "The Compatibility of Copper CMP Slurries with CMP Requirements" Journal of Electrochemical Society, 150 (9) C646-C652 (2003)
- [5] T. Du, D. Tamboli, V. Desai " Electrochemical characterization of copper chemical mechanical polishing" Microelectronic Engineering 69 (2003) 1-9