Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 18, No. 4, p. 303, April 2005.

논 문 18-4-3

혼합 산화제를 사용한 텅스텐 막의 전기화학적 부식 및 CMP 특성

Electrochemical Corrosion and Chemical Mechanical Polishing(CMP) Characteristics of Tungsten Film using Mixed Oxidizer

나은영[1], 서용진[2], 이우선[3,a]
(Eun-Young Na[1], Yong-Jin Seo[2], and Woo-Sun Lee[3,a])

Abstract

In this paper, the effects of oxidants on tungsten chemical mechanical polishing (CMP) process were investigated using three different oxidizers such as $Fe(NO_3)_3$, KIO_3 and H_2O_2. Moreover, the interaction between the tungsten film and the oxidizer was discussed by potentiodynamic polarization measurement with three different oxidizers, in order to compare the effects of W-CMP and electrochemical characteristics on the tungsten film as a function of oxidizer. As an experimental result, the tungsten removal rate reached a maximum at 5 wt% $Fe(NO_3)_3$ concentration, and when 5 wt% H_2O_2 was added in the slurry, the removal rate of W increased. Also, the microstructures of surface layer by atomic force microscopy(AFM) image were greatly influenced by the slurry chemical composition of oxidizers. It was shown that the surface roughness and removal rate of the polished surface were improved in $Fe(NO_3)_3$ than KIO_3. The electrochemical results indicate that the corrosion current density of the 5 wt% H_2O_2 and 5 wt% H_2O_2 + 5 wt% $Fe(NO_3)_3$ was higher than the other oxidizers. Therefore, we conclude that the W-CMP characteristics are strongly dependent on the kinds of oxidizers and the amounts of oxidizer additive.

Key Words : CMP(chemical mechanical polishing), Mixed oxidizer, Potentiodynamic polarization, Electrochemical corrosion

1. 서 론

최근 반도체 제조 공정은 웨이퍼의 대구경화, 최소 선폭의 미세화, 초고집적도 및 다층 배선화가 이루어지면서 엄격한 DOF(depth of focus)를 만족시키기 위하여 평탄화 공정이 중요한 공정으로 인식되고 있다[1,2]. 평탄화 공정 중 기존의 방법인 reflow, etchback, SOG(spin on glass)등으로는 광역 평탄화에 어려움이 있어 CMP(chemical mechanical polishing : 화학기계적 연마) 공정이 도입되었다[3]. CMP 공정은 연마제로 사용되고 있는 슬러리(slurry)의 화학액에 의한 화학적 에칭과 연마제 파티클(abrasive particle)에 의한 기계적인 가공이 동시에 웨이퍼 표면을 연마시키게 된다. 따라서 금속막용 슬러리에서 중요한 점은 금속 배선 재료인 W, Al, Cu 등과 확산 방지막인 Ti/TiN, TaN 등의 물질, 그리고 산화막과의 상대적인 연마 속도를 최소화하여야 한다. 텅스텐 CMP는 슬러리 내에 첨가된 산화제에 의해 텅스텐 표면에 WO_3라는 부동태층이 형성되고, 이렇게 형성된 부동태 층은 다시 슬러리 입자들에 의해 기계적인 제거가

1. 조선대학교 에너지자원 신기술연구소
2. 대불대학교 전기전자공학과
3. 조선대학교 전기공학과
(광주시 동구 서석동 375)
a. Corresponding Author : wslee@chosun.ac.kr
접수일자 : 2005. 1. 7
1차 심사 : 2005. 3. 8
심사완료 : 2005. 3. 10

반복적인 작용에 의해 이루어지며 연마된다[4]. 텅스텐 CMP용 슬러리는 용액 내 산화제에 의해 형성된 표면의 부동태 층이 텅스텐보다 경도가 낮아서 연마 제거율을 높이는 효과로 인해 매우 중요한 역할을 하고 있다[5,6]. 한편, WO_3의 물에 대한 용해도는 pH가 클수록 커지게 되며 이러한 이유 때문에 알칼리 영역에서는 부식 현상이 발생하게 된다. 그래서 텅스텐 슬러리 영역은 pH 3~4 정도의 산성 슬러리를 채택하고 있다. 따라서 텅스텐 CMP 공정시 사용 되어지는 텅스텐 슬러리 및 산화제의 특성 평가는 더욱 더 중요하다. 일반적으로 텅스텐 CMP용 슬러리의 산화제(oxidizer)로는 질산철($Fe(NO_3)_3$), 옥소산칼륨(KIO_3) 및 과산화수소(H_2O_2)가 사용되고 있고, 연마제로는 알루미나(Al_2O_3)를 사용하고 있다. 그러나 이러한 산화제들은 Fe의 오염이나 스크래치, SiO_2의 표면이 거칠어지는 것, W/Ti/TiN/SiO_2의 선택성이 나빠지는 등 해결해야 할 과제가 남아있다[7,8]. 또한 산화제의 영향에 따른 연마율의 차이 즉, CMP 특성의 변화를 보이고 있기 때문에 각 슬러리의 영향에 알맞은 산화제를 선택하고, 투입량의 최적화가 필요하다.

본 연구에서는 텅스텐 피막의 산화제에 따른 전기화학적 부식 특성을 연구하고, 산화제의 투입량 조절이 텅스텐 금속막에 미치는 영향을 정성·정량적인 평가방법으로 동전위 분극 (potention-dynamic polarization) 시험을 수행하였다. 이를 통해 텅스텐 피막의 전기화학적인 부식 거동과 W-CMP 공정의 기계적인 연마율과의 연관성을 비교 분석하였다. 산화제로는 $Fe(NO_3)_3$, KIO_3 및 H_2O_2를 이용하였고, CMP 전·후의 텅스텐 표면상의 파티클의 존재 여부 및 RMS(root mean square) 표면 거칠기 분석을 위해 AFM(atomic force microscope)를 통하여 비교 고찰하였다.

2. 실 험

본 실험에서는 W/SiO_2(TEOS)/Si의 구조로 증착된 웨이퍼를 시편으로 사용하여 전기화학적 평가방법으로 -500 mV/SCE 에서 정방향으로 +1,000 mV/SCE 까지 주사속도 1 mV/s로 동전위 분극시험을 실시하여 부식전위, 부식전류밀도 등의 부식 거동을 분석하였다. 부식용액으로는 각 산화제 $Fe(NO_3)_3$, KIO_3 및 H_2O_2의 wt%를 달리하여 사용하였으며 용액의 온도는 25±1 ℃로 조절하였다. 실험장치는 Gamry사의 Potentiostat CMS-100 전기화학적 부식측정시스템을 사용하였다. 기준전극은 포화 카로멜 전극 (saturated calomel electrode, SCE)을 사용하였고, 대극으로는 탄소봉(carbon electrode)을 사용하였다. 전기화학적 분극시험의 실험장비 개략도를 그림 1에 도시하였다.

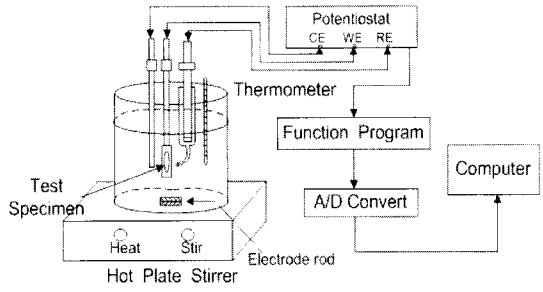

그림 1. 분극시험 개략도.
Fig. 1. The schematic diagram of potention-dynamic measurement.

표 1. CMP 장비의 공정 조건.
Table 1. Process condition of CMP equipment.

Table speed	70 rpm
Head speed	70 rpm
Polisher Pressure	60 g/㎠
Pad Width	16 inch
Pad	IC 1300 / Suba IV
Time	60 sec
Post-CMP Cleaning	NH_4OH → Ultrasonic

CMP 공정은 G & P Technology의 POLI-380 모델을 사용하였고, 연마패드는 Rodel사의 IC 1300(hard pad)과 Suba IV(soft pad)를 PASⅡ로 접착시킨 16인치 크기의 이중 패드를 사용하였다. 텅스텐은 산화막보다 경도가 크기 때문에 실리카(SiO_2) 파티클 보다 경도가 큰 알루미나(Al_2O_3) 파티클을 사용한다. 따라서 본 실험에서는 Rodel사의 Al_2O_3-Based 슬러리를 사용하였고, 산화제로는 $Fe(NO_3)_3$, KIO_3 및 H_2O_2를 채택하였다. 산화제 첨가량은 5 wt%로 고정하였으며 각기 다른 산화제의 혼합은 1, 3 및 5 wt%로 나누어서 실험을 진행하였다. 표 1은 본 연구 CMP에 적용된 공정변수를 요약한 것이다. 테이블 및 헤드의 회전속도는 70 rpm으로 동일하게 세팅하였고, 헤드압력은 60 kg/㎠로 고정하였다. 연마시간은 60초로 고정시키고 실험하였다. 슬러리의 내의 산화제의 분산을 위해서 SONY사의 초음파 분산기를 이용하였으며, 혼합된 슬러리의 노화 현상 및 침전을 방지하기

위해 연마 전에 교반기를 이용하여 충분히 교반시켜주었다. CMP 후의 세정공정은 2 %의 NH_4OH 용액을 이용하여 세정 후, 4분 동안 초음파 세척하는 시퀀스를 적용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 산화제인 H_2O_2의 첨가량에 따른 텅스텐 막의 연마 제거율과 RMS 표면 거칠기를 비교한 것이다.

H_2O_2를 1 wt%부터 9 wt%까지 계속 증가 시켜가며 첨가한 결과, 연마 제거율은 H_2O_2의 첨가량이 증가함에 따라 5 wt%까지 증가하여 5 wt%에서 가장 높은 연마 제거율을 보였으나, 그 이상의 H_2O_2를 첨가하면 연마 제거율은 감소하였다. 이는 헤르난데스[9]등에 의해 발표된 연구 결과와 거의 일치함을 알 수 있다. 헤르난데스의 해석에 따르면 H_2O_2의 첨가량이 5 wt% 이하일 경우에는 WO_3의 부동태 층이 충분히 형성되지 못하고, 불안정한 WOx 막을 형성하여 텅스텐 연마가 텅스텐 자체의 낮은 산화 속도 및 연마제의 기계적인 힘에 의해서만 제어되었으나, 5 wt% 이상의 H_2O_2를 첨가한 경우에는 부동태층인 WO_3의 형성과 식각 (etching)이 거의 동시에 이루어져 비선형적인 연마 제거율을 나타내었다. 이와 같이, 5 wt%를 첨가하였을 경우에는 텅스텐이 충분한 WO_3의 부동태 층을 형성하여 기계적·화학적 작용이 동시에 작용하기 때문에 연마 제거율이 가장 우수한 것으로 생각된다. 이러한 결과는, H_2O_2의 첨가량에 따른 W 막의 RMS 거칠기를 비교한 데이타에서도 거의 일치함을 알 수 있다. 1 wt%부터 9 wt%까지의 H_2O_2를 계속 증가 시켜가며 첨가한 결과, RMS 거칠기는 H_2O_2의 첨가량이 증가함에 따라 5 wt%까지 감소하여 RMS 거칠기가 3.4 nm로 가장 우수하였으나, 그 이상의 H_2O_2를 첨가하면 RMS 값은 증가하였다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이, 5 wt% 이하에서는 텅스텐 자체의 낮은 산화 속도 및 연마제의 기계적인 힘에 의해서만 제어되었고, 5 wt% 이상에서는 WO_3의 형성과 etch가 거의 동시에 이루어졌으나, 5 wt%를 첨가하였을 경우에는 충분한 WO_3의 부동태 층을 형성하여 가장 우수한 RMS 거칠기를 나타낸 것으로 생각된다. 즉, 5 wt% 농도에서 텅스텐 표면에 생성되는 WO_3 부동태 층이 가장 적절히 형성됨을 알 수 있었다. 따라서 이상

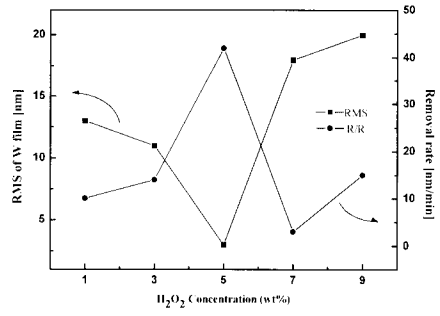

그림 2. H_2O_2 첨가량에 따른 W 막의 연마 제거율과 RMS 거칠기.

Fig. 2. Removal rate & RMS roughness of W film as a function of H_2O_2 contents.

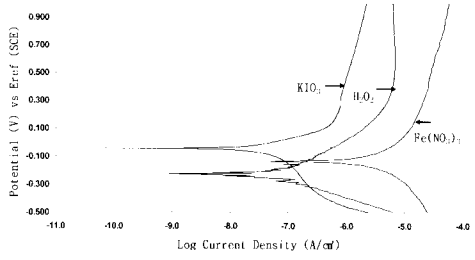

그림 3. 산화제의 따른 분극곡선.

Fig. 3. Potentiodynamic polarization curves for tungsten in 5 wt% of different oxidizers.

에서 설명한 부동태 층의 형성과 밀접한 연관성을 갖는 전기화학적인 부식특성을 설명하기 위해 그림 2에서 설명한 바와 같이 가장 양호한 특성을 보였던 5 wt%로 첨가량을 고정하고, $Fe(NO_3)_3$, KIO_3 및 H_2O_2의 분극시험을 수행하였다.

전기화학적 분극시험결과에서 부식전위(Ecorr)와 부식전류밀도(Icorr), 부동태전류밀도(Ip), 임계전류밀도(Icrit) 및 파괴전위(Eb) 등으로 내식성을 비교판별할 수 있으며 Ecorr과 Eb가 낮거나 Icorr, Ip와 Icrit가 커질수록 부식이 심하게 나타난다. 그림 3은 텅스텐 막에 대한 산화제에 따른 동전위 분극곡선으로 5 wt% H_2O_2의 경우 부식전위(Ecorr)가 -225 mV/SCE로 가장 낮았고, 5 wt% $Fe(NO_3)_3$ 의 경우 부식전류밀도(Icorr)가 가장 높은 것을 알 수 있다. 반면, 5 wt%의 KIO_3 산화제의 경우 Ecorr 가 -43 mV/SCE로 가장 높고, Icorr가 가장 낮아 내식성이 우수하였다.

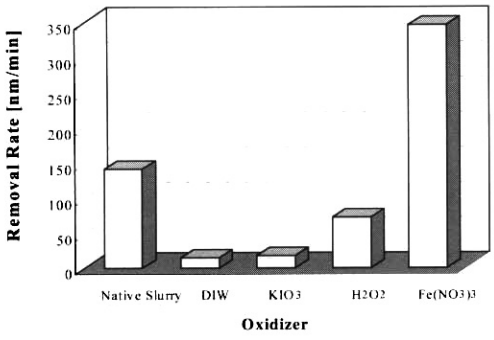

그림 4. 산화제에 따른 연마율 비교.

Fig. 4. Comparison of removal rate as a function of different oxidizers.

그림 4는 그림 3의 분극곡선에 보였던 각 산화제에 대한 연마율을 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 상업용으로 시판되는 원액의 W 슬러리의 경우에는 150 nm/min의 연마율을 보이고 있고, DIW와 5 wt% KIO_3를 첨가한 경우에는 거의 연마가 되지 않았고, 5 wt% H_2O_2에서는 70 nm/min 정도의 연마율을 보였으나, 5 wt% $Fe(NO_3)_3$를 산화제로 첨가한 경우에는 원액의 W 슬러리보다 3배 정도의 우수한 CMP 특성을 보이고 있음을 알 수가 있다. 이는 $Fe(NO_3)_3$가 가장 우수한 부식성을 보였던 그림 3의 분극시험결과와 일치하는 것으로 $Fe(NO_3)_3$가 첨가된 경우 부동태막(passive film)의 형성이 빨라짐과 동시에 분해속도(dissolution rate)도 증가하기 때문이다.

그림 5는 각기 다른 산화제를 5 wt% 첨가함에 따른 CMP 공정 후의 AFM 표면 사진을 보인 것이고, 그림 6은 RMS 표면 거칠기를 나타낸다. 그림 5(a)는 CMP 공정 전의 텅스텐 표면의 형상을 보인 것이고, 이때 RMS는 24.7 nm이었다. 그림 5(b)는 텅스텐 슬러리 원액을 사용한 CMP 공정 후의 텅스텐 표면을 나타낸 것으로 연마가 비교적 잘 진행되어 표면의 균일도가 우수하게 제어됨을 알 수가 있고, 이때의 RMS는 6.5 nm로 개선되었다. 그림 5(c)는 5 wt% KIO_3가 첨가된 슬러리를 사용한 CMP 후의 텅스텐 표면 사진으로 매우 불안정한 표면 특성을 보이고 있으며, RMS도 24.3 nm로 매우 높게 나타났다. 이는 그림 3의 분극곡선과 그림 4의 연마율 특성에서 설명하였듯이 당연한 결과이며 본 실험에서는 KIO_3는 산화제로 적합지 않음을 알 수 있다. 그림 5(d)는 5 wt% $Fe(NO_3)_3$가 첨가된 슬러리를 사용한 CMP 후의 텅

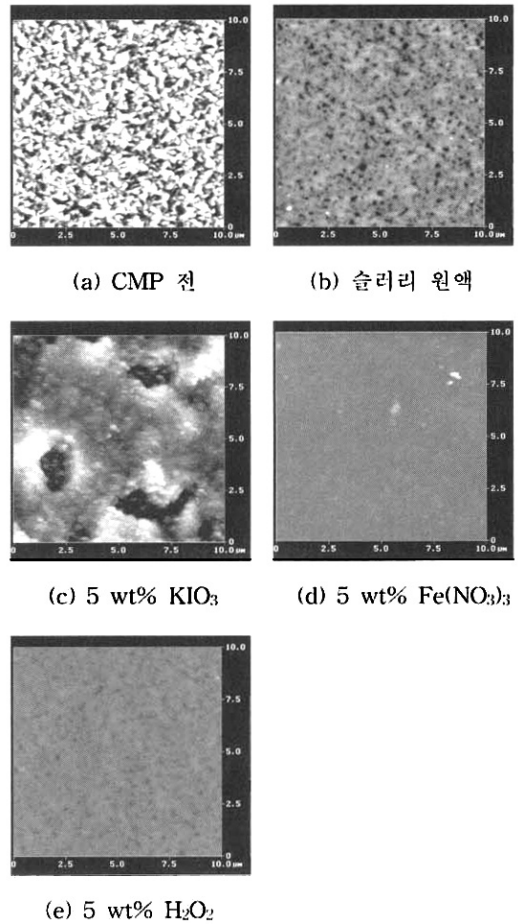

그림 5. 산화제에 따른 AFM 이미지 비교.

Fig. 5. Comparison of AFM image as a function of different oxidizers.

스텐 표면으로 RMS는 2.6 nm로 원액 슬러리보다 더 우수한 표면 특성을 나타내었다. 더불어 그림 4에 보인 연마율 특성에서 $Fe(NO_3)_3$가 가장 높은 연마율 특성을 보인 점을 감안하면 본 연구에서는 가장 적합한 슬러리로 판단된다. 그림 5(e)는 5 wt% H_2O_2가 첨가된 슬러리를 사용한 CMP 후의 텅스텐 표면으로 RMS는 3.4 nm로 우수하였지만, 원액 슬러리보다 연마율은 다소 낮음을 알 수 있다. 요약하면, $Fe(NO_3)_3$의 경우에 연마율과 표면 평탄도 측면에서 둘 다 우수하게 제어되고 있음을 알 수 있다. 이는 그림 3에 보인 것처럼 $Fe(NO_3)_3$의 부식 특성의 영향이 강하기 때문에 화학적으로 텅스텐과 $Fe(NO_3)_3$의 급속한 반응으로 인해 높은 연마율이 형성되어진 것으로 사료된다.

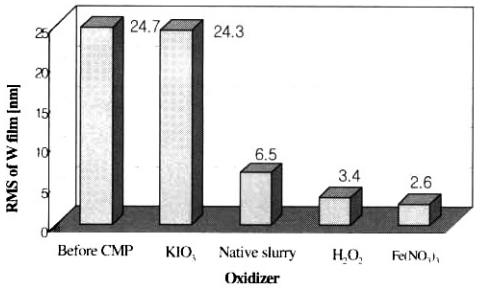

그림 6. 산화제에 따른 RMS 거칠기 비교.

Fig. 6. Comparison of RMS roughness as a function of different oxidizers.

표 2. 혼합 산화제의 조건 및 pH 값.

Table 2. Split conditions of mixed oxidizer.

No	New Oxidizer	pH
1	H_2O_2 5 wt% + KIO_3 1 wt%	4.72
2	H_2O_2 5 wt% + KIO_3 3 wt%	4.92
3	H_2O_2 5 wt% + KIO_3 5 wt%	5.03
4	H_2O_2 5 wt% + $Fe(NO_3)_3$ 1 wt%	2.03
5	H_2O_2 5 wt% + $Fe(NO_3)_3$ 3 wt%	1.64
6	H_2O_2 5 wt% + $Fe(NO_3)_3$ 5 wt%	1.45

표 2는 혼합 산화제의 recipe 및 pH 값을 나타낸 것이다. 혼합 산화제의 산화 특성을 개선하기 위해서 5 wt%의 H_2O_2에 부식특성이 가장 우수한 $Fe(NO_3)_3$를 각각 1, 3, 5 wt%를 첨가하여 분극특성 및 CMP 특성을 비교하였다. 한편 KIO_3는 앞서 설명한 것처럼 양호한 연마율 및 표면 특성은 보이지 않았지만, H_2O_2와 혼합되어 산화제로 사용될 경우 어떤 분극특성 및 연마 특성을 갖는지 그 연관성을 비교 고찰해 보기 위해 5 wt%의 H_2O_2에 KIO_3를 각각 1, 3, 5 wt%를 동일하게 첨가하여 분극특성을 시험하였다.

그림 7과 8은 표 2에 보인 조건으로 혼합 산화제를 만들어 측정한 분극곡선을 나타낸다. 5 wt%의 H_2O_2에 KIO_3를 첨가한 경우 첨가량 증가에 따라 부식전위는 낮아지고, 부식전류밀도는 증가하는 경향을 보이며 부식 특성이 증가하였다. 그리고 5 wt%의 H_2O_2에 $Fe(NO_3)_3$를 첨가한 경우는 첨가량 증가에 따라 부식전위는 거의 일정하였으나 부식전류밀도는 크게 증가하였다. 이와 같이 5 wt% H_2O_2에 5 wt% $Fe(NO_3)_3$를 첨가시 5 wt% KIO_3보다 부식전위는 높으나 부식전류밀도는 크게 증가하였다. 즉, 부식속도가 5 wt% $Fe(NO_3)_3$ 첨가시 5 wt% KIO_3의 보다 훨씬 빠른 경향을 보였다. 이

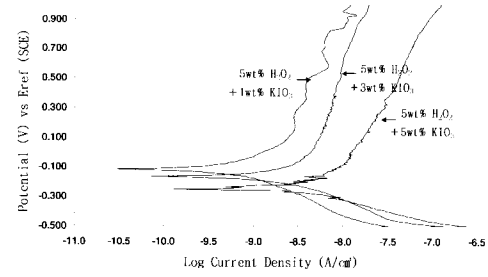

그림 7. 5 wt% H_2O_2에 KIO_3 첨가량에 따른 분극곡선.

Fig. 7. Potentiodynamic polarization curves for tungsten in 5 wt% H_2O_2 and different KIO_3 wt%.

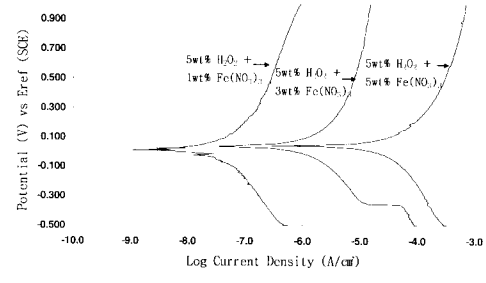

그림 8. 5 wt% H_2O_2에 $Fe(NO_3)_3$ 첨가량에 따른 분극곡선.

Fig. 8. Potentiodynamic polarization curves for tungsten in 5 wt% H_2O_2 and different $Fe(NO_3)_3$ wt%.

러한 결과는 산화제 $Fe(NO_3)_3$가 사용되었을때 Fe^{+3} 이온들과의 산화작용으로 인해 $FeWO_4$의 표면층이 형성되는 반면에, KIO_3와 H_2O_2가 사용된 경우에는 복잡한 non-stochiometric의 WO_2/WO_3와 같은 이중 산화막을 형성하기 때문으로 사료된다.

산화제에 가장 큰 영향을 미치는 pH를 살펴본 결과 표 2에 보인바와 같이 KIO_3를 첨가한 경우 pH가 증가하는 경향을 나타내었고, $Fe(NO_3)_3$ 경우에는 점점 감소하는 경향을 보였다. 연마율 특성에서는 그림 9와 같이 5 wt% H_2O_2에 $Fe(NO_3)_3$를 첨가한 모든 경우에서는 높게 나타났으며, KIO_3를 첨가한 모든 경우에는 거의 연마되지 않음을 알 수가 있었다. $Fe(NO_3)_3$를 첨가한 경우 연마율이 높게 나타난 것은 그림 4에서 설명했듯이, 부동태 막의 빠른 형성 및 높은 분해 속도에 기인하는 것이

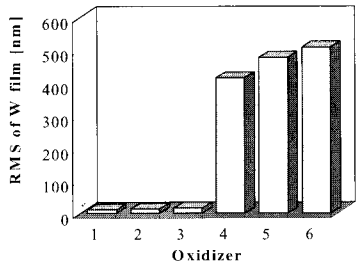

그림 9. 혼합 산화제에 따른 연마율.

Fig. 9. Removal rate as a function of mixed oxidizers.

다. 이는 그림 7과 8에 보인 텅스텐 박막의 분극시험 결과와 같이 KIO_3보다 $Fe(NO_3)_3$의 경우 더 우수한 부식특성을 보이는 경향과 일치하였다. 즉, pH 값이 낮을수록 더 높은 분해속도(dissolution rate)를 갖고 있음을 의미한다. 그러나 1 wt%의 $Fe(NO_3)_3$ 첨가 이후에는 그다지 큰 연마율의 향상을 보이지 않고 있음을 알 수 있다. 이는 적정량의 첨가량 조절이 매우 중요함을 지적하는 것이다.

4. 결 론

본 논문에서는 텅스텐 피막에 산화제로 $Fe(NO_3)_3$를 사용한 경우와 혼합 산화제인 5 wt% H_2O_2 + 5 wt% $Fe(NO_3)_3$를 사용한 경우 가장 우수한 부식특성을 갖고 있음을 분극시험을 통해 확인할 수 있었다. 이와 같이 텅스텐 피막의 전기화학적인 성질과 W CMP 공정의 기계적인 연마 성질은 산화제 종류에 많은 의존성을 가지고 있으며, 특히 연마율 특성에서는 각각의 산화제의 영향에 의해 상당한 양의 연마율의 차이를 보이고 있어 W CMP 공정에서 산화제의 역할은 매우 중요함을 알 수 있었다. 요약하면, 앞으로 W-CMP 공정에 산화제로 $Fe(NO_3)_3$를 적용하거나, 5 wt% H_2O_2 + 5 wt% $Fe(NO_3)_3$의 혼합산화제 만들어 사용할 경우, 상업용 슬러리와 유사한 연마 특성을 얻을 수 있어 고가의 슬러리를 절약함과 동시에 우수한 연마특성을 얻을 수 있고, 새로운 산화제의 혼합으로 인해서 우수한 텅스텐 슬러리를 개발 할 수 있는 가능성을 확보 할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 학술진흥재단의 중점 연구소 지원에 의해서 연구되었음(KRF 2004-005 D00 007).

참고 문헌

[1] W. S. Lee, S. Y. Kim, Y. J. Seo, and J. K. Lee, "An optimization of tungsten plug chemical mechanical polishing(CMP) using different consumables", J. Mater. Sci.: Mater. Electron., Vol. 12, No. 1, p. 63, 2001.

[2] W. J. Patrick, W. L. Guthrie, C. L. Standley, and P. M. Schiable "Application of chemical mechanical polishing to the fabrication of VLSI circuit interconnection", J. Electrochem. Soc., Vol. 138, No. 6, p.1778, 1991.

[3] 김상용, 서용진, 김태형, 이우선, 김창일, 장의구, "Chemical mechanical polishing 공정을 이용한 multilevel metal 구조의 광역평탄화에 관한 연구", 전기전자재료학회논문지, 11권, 12호, p. 1084, 1998.

[4] D. Tamboli, S. Seal, V. Desai, and A. Maury, "Studies on passivation behavior of tungsten in application to chemical mechanical polishing", J. Vac. Sci. Technol., Vol. 17, No. 4, p. 1168, 1999.

[5] V. S. Chathapuram, T. Du, K. B. Sundaram, and V. Desai, "Role of oxidizer on the chemical mechanical panarization of Ti/TiN barrier layer", Microelectron. Eng., Vol. 65, No. 4, p. 478, 2003.

[6] M. Bielmann, U. Mahajan, R. K. Singh, D. O. Shah, and B. J. Palla "Enhanced tungsten chemical mechanical polishing using stable alumina slurries", Electrochem. Solid-state Letters, Vol. 2, No. 3, p. 148, 1999.

[7] Y. J. Seo and W. S. Lee, "Effects of oxidant additives for exact selectivity control of W and Ti CMP process", Microelectron. Eng., Vol. 77, No. 2, p. 132, 2005.

[8] S. Y. Kim, Y. J. Seo, W. S. Lee, and E. G. Chang, "Study of micro-defect on oxide CMP in VLSI circuits", Electrochem, Soc., Proc., Vol. 99, p. 275, 1999.

[9] J. Henandez, P. Wrschka, and G. S. Oehrlein, "Surface chemistry studies of copper chemical mechanical planarization", J. Electrochem. Soc., Vol. 148, No. 7, p. G359, 2001.