韓國精密工學會 2002年度 秋季學術大會論文集 pp.206~209 KSPE 02F105

# 알루미나 고정입자패드를 이용한 텅스텐 CMP 특성 평가

박범영*, 김호윤, 김형재, 서헌덕(부산대 대학원 정밀기계공학과), 정해도(부산대 기계공학부)

# Evaluation on Tungsten CMP Characteristic using Fixed Abrasive Pad with Alumina

Boumyoung Park, Hoyoun Kim, Hyoungjae Kim, Heondeok Seo(Precision Mech. Eng. Dept., PNU),
Haedo Jeong(School of Mech. Eng., PNU)

## ABSTRACT

The fixed abrasive pad(FAP) has been introduced in chemical mechanical polishing(CMP) field recently. In comparison with the general CMP which uses the slurry including abrasives, FAP takes advantage of planarity, resulting from decreasing pattern selectivity and defects such as dishing due to the reduction of abrasive concentration especially. This paper introduces the manufacturing technique of $Al_2O_3$-FAP using hydrophilic polymers with swelling characteristic in water and explains the self-texturing phenomenon. It also focuses on the chemical effects on tungsten film and the FAP is evaluated on the removal rate as a function of chemicals such as oxidizer, catalyst, and acid. The removal rate is achieved up to 1000Å/min as about 70 percents of the general one. In the future, the research has a plan of the advanced FAP and chemicals in tungsten CMP considering micro-scratch, life-time, and within wafer non-uniformity.

**Key Words** : chemical mechanical polishing(화학기계연마), fixed abrasive pad(고정입자패드), alumina($Al_2O_3$), tungsten(텅스텐), removal rate(연마제거율)

## 1. 서론

화학기계연마(Chemical Mechanical Polishing : CMP)는 반도체의 고집적화와 다층화에 따라 ULSI 칩 제조에서 광역 평탄화를 이룰 수 있는 아주 중요한 공정으로 인식되고 있다. 그러나, 화학기계연마 공정으로 절연막 및 배선을 형성할 때 패턴에 디싱(dishing), 에로젼(erosion), 리세스(recess)와 같은 결함이 발생하게 된다. 이는 반도체 디바이스의 수명을 단축시키는 것과 동시에 배선의 저항값을 상승시키는 결과를 초래하게 된다(Fig. 1). 이러한 결함은 연마입자 함량의 최소화, 산화제의 감소, 패드 표면 경도의 증가 등으로 감소시킬 수 있다[1]. 결과적으로 슬러리(slurry)와 연마 패드가 중요한 공정 변수로 작용하게 되는데 최근 STI(Shallow Trench Isolation) CMP 공정에서 이러한 결함을 감소시키기 위하여 고정입자패드(Fixed Abrasive Pad : FAP)를 적용하고 있다. 이는 특히 연마입자 함량의 최소화와 관련되는 것으로 인식되고 있다.

따라서 본 연구는 고정입자패드의 텅스텐 CMP 적용을 위한 단계로써 이에 맞는 패드 제작과 화학액을 조성하여 CMP 특성을 평가하였다.

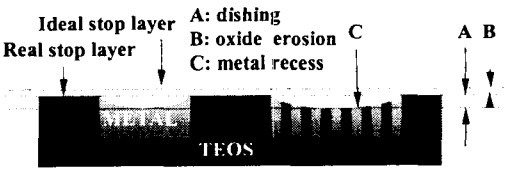


Fig. 1 Defects such as dishing, erosion, and recess during CMP

## 2. 고정입자패드

### 2.1 Swelling 특성

고정입자패드는 친수성 고분자를 바인더로 입자를 혼합하여 만들어진다. 친수성 바인더는 hydroxyl group(-OH), carboxyl group(-COOH), carbonyl group(-CO) 등과 같은 친수성기를 포함한다. 이와 같

은 친수성기는 물과 쉽게 결합하는 특성을 가지고 있으며, 이러한 고분자 구조가 물과 만나면 물은 고분자 구조 속으로 침투하여 친수성기 주위에 모이게 된다. 결과 친수성기에 의해 고분자 체적이 팽창하는 현상이 발생하게 되는데 이를 swelling 현상이라 한다(Fig. 2). 이러한 과정에서 친수성 바인더에 의해 고정되어 있던 입자들이 웨이퍼와의 마찰력에 의해 자유상태로 바뀌게 되고 화학기계연마에 참여하게 된다.

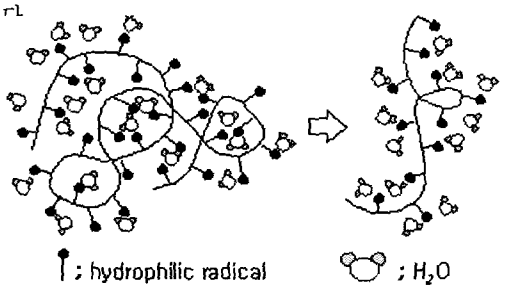


Fig. 2 Swelling phenomenon of hydrophilic polymer

### 2.2 Self-texturing 특성

화학기계연마 공정에서는 일반적으로 연마가 진행됨에 따라 연마입자, 제거 재료 및 패드 마모에 의한 여러 가지 잔류물들이 패드(IC1400$^{TM}$)의 기공(pore)을 막게 하는 눈막힘(glazing) 현상과 패드 표면의 거칠기가 감소되는 현상이 발생하게 된다[2]. 이는 연마에 참여하는 슬러리 공급을 막고 패드의 마찰력을 변화시키므로 연마제거율을 감소시키는 결과를 초래하게 된다. 또한 잔류물에 대한 패드의 오염은 반도체 웨이퍼에 치명적인 결함을 낼 수 있다. 따라서 패드(IC1400$^{TM}$)의 기공을 열어주고 패드 표면을 거칠게 하기 위한 컨디셔닝(conditioning) 공정이 이루어진다. 여기서 패드 표면을 거칠게 하는 것을 texturing이라 한다.

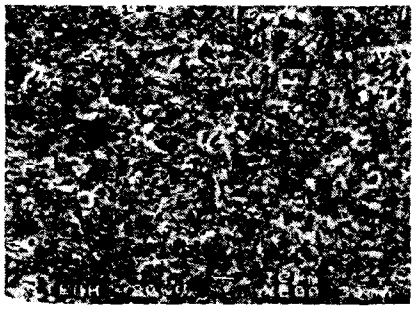

Fig. 3 Surface of fixed abrasive pad after CMP

이와 비교하여 친수성 고분자를 이용한 고정입자패드는 웨이퍼와의 마찰력으로 swelling 특성에 의해 결합력이 약해진 바인더가 임의로 떨어져 나가면서 스스로 패드 표면을 texturing하게 된다. Fig. 3은 텅스텐 CMP에 적용한 self-texturing된 알루미나 고정입자패드의 SEM(Scanning Electron Microscope) 사진을 보여준다.

### 2.3 알루미나 고정입자패드 제작

고정입자패드의 제작을 위해 연마입자로 평균입경이 1.16㎛인 알루미나($Al_2O_3$)를 사용하였다. 바인더는 PEG(polyethylene glycol), PEGMA(polyethylene glycol monomethacrylate), TMPTA(trimethylopropane trimethacrylate) 3가지의 친수성 고분자를 이용하였다.

바인더의 비율은 고정입자패드의 swelling 특성과 내마모성에 대한 평가 후 PEG:PEGMA:TMPTA = 4:5:1 로 하였으며 이때 최적의 연마제거율을 나타낸다. 바인더 중 PEGMA는 swelling 특성을 가지며 TMPTA는 특히 3-functional로서 3차원적인 결합을 가능하게 하여 마모성과 관련을 가진다. 여기서 swelling 특성과 마모성은 서로 상반된 성질을 갖는다.

바인더와 연마입자를 혼합하고 응집한 거대 연마입자를 분쇄하기 위해 볼밀(ball mill)을 실시하였다. 바인더를 경화시키기 위해 개시제(initiator)를 첨가하여 스크린 프린터로 혼합물을 프린팅하였다. 이를 자외선을 이용하여 광경화시켰다. 연마균일도와 평탄도를 고려하여 IC1400$^{TM}$ 패드를 하부층으로 선택하여 프린팅된 패드를 접착시켰다(Fig. 4).

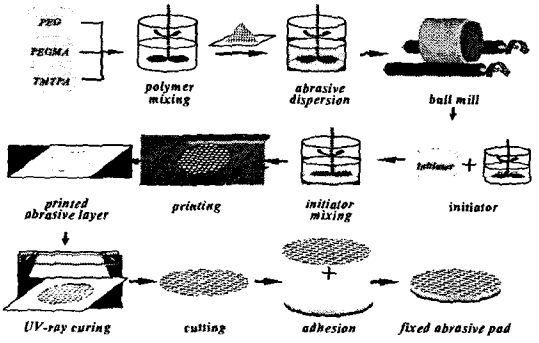


Fig. 4 Manufacturing process of fixed abrasive pad

고정입자패드 제작에는 연마입자의 크기 제어, 혼합물의 점도, 분산, 탈포 등이 중요한 제작 변수로 작용하게 된다.

## 3. 고정입자패드의 텅스텐 CMP 적용

### 3.1 Metal CMP 메카니즘

금속박막의 화학기계연마는 일반적으로 산성영

역에서 이루어진다. 금속의 Pourbaix 선도에 따라 슬러리 내의 산화제(oxidizer)에 의해 금속산화물이 형성되며 이를 연마입자와 패드의 기계적 작용에 의해 제거하게 된다. 이때 etchant에 의해 금속이 에칭(etching)되며 다시 금속산화물이 형성되어 에칭을 방해하게 된다. 이와 같이 안정화된 금속산화물이 부동태층으로 작용하며 부동태와 에칭이 경쟁적으로 일어나면서 화학기계연마가 진행된다(Fig. 5)[3].

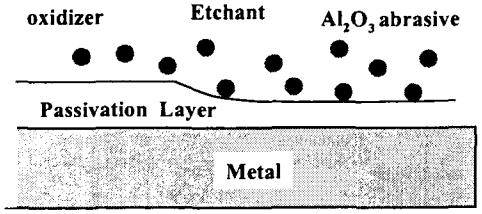


Fig. 5 Metal CMP mechanism

### 3.2 화학액 조성에 따른 특성 평가

일반적인 metal CMP에서 슬러리는 화학 성분으로 산화제(oxidizer), 산(acid), 산화 억제제(inhibitor), 킬레이트제(chelate agent) 등이 포함되어 있다. 특히 산화제가 슬러리의 특성을 가장 크게 좌우한다. 따라서 고정입자패드를 metal CMP에 적용하기 위해서도 이러한 화학 성분은 필요하다.

산화제는 $H_2O_2$, $Fe(NO_3)_3$, $KIO_3$ 등이 있으며, $KIO_3$는 물에 대한 용해도에 제한이 있고 알카리성 칼륨에 의한 오염을 발생시킨다. $Fe(NO_3)_3$는 연마속도는 빠르지만 과도한 산화작용과 철의 오염을 발생시키는 단점이 있다[4]. 이에 일반적으로 $H_2O_2$를 산화제로 사용하지만 그 농도를 제한하고 산화속도와 산화량을 제어할 수 있는 첨가제가 들어가지 않으면 금속 박막에 결함을 발생시킬 수 있다.

산으로는 $HNO_3$, $H_2SO_4$, $H_3PO_4$ 등이 있으며 금속의 에칭 작용을 한다. 산의 농도가 증가할수록 부식속도와 용해속도는 증가하게 되지만, 이 또한 금속의 결함을 발생시키므로 적절한 농도로 조절해야한다. 특히 $H_3PO_4$은 불활성 약산으로 안정적으로 금속과 반응하며, $H_2O_2$에 의해 킬레이트제로서 역할을 하게 되는데 이는 금속 이온과 결합하고 착물을 형성하여 연마제거율을 향상시킨다[5].

본 연구에서는 알루미나 고정입자패드로 텅스텐 CMP를 하기 위하여 화학액 성분으로 $H_2O_2$, 산화제 5wt% 농도에서 연마제거율을 확보하기 위한 산화촉매(catalyst) 및 산의 조성에 따른 연마제거율 관계를 보고자 한다.

Table. 1과 같은 실험 조건으로 텅스텐 CMP를 실시하였다. 초기 텅스텐 박막 두께가 10000Å인 100 ㎜ 웨이퍼를 사용하였고, 장비(polisher)는 LGP 381-Lapmaster를 사용하였다. 산류박막 두께는 4-Point Probe(Chang Min Tech., Co.)를 이용하여 EE 10mm, 49-point cartesian map으로 측정을 하였다.

Table. 1 Experimental conditions

| Parameters | Experimental conditions |
|---|---|
| pressure | 300 $g/cm^2$ |
| velocity(head/platen) | 50/50 rpm |
| pad | FAP ($Al_2O_3$) |
| flow rate of chemicals | 300 cc/min |
| cleaning | brushing |

먼저 pH에 대한 연마제거율 관계 실험을 통하여 화학액의 적절한 pH를 선정하였다. 연마제거율은 pH 2-4 범위에서 비슷한 연마결과를 나타냈다. 따라서 이 범위의 pH 영역에서 특성 평가를 실시하였다.

산화제의 농도 따라 연마제거율은 비선형적인 관계로 증가하고 있다. 산화제 35wt%일 때는 연마제거율은 높으나 텅스텐 박막의 CMP후 표면 상태는 떨어졌다. 이는 $H_2O_2$의 텅스텐에 대한 산화속도와 산화량에 화학·기계적인 제거 작용이 미치지 못한 결과라 생각된다. 하지만 산화제 5wt%에서는 텅스텐 박막의 결함은 감소할 수 있겠지만 연마제거율이 확보되지 않아 CMP 효율을 떨어트리는 결과를 초래하게 된다(Fig. 6).

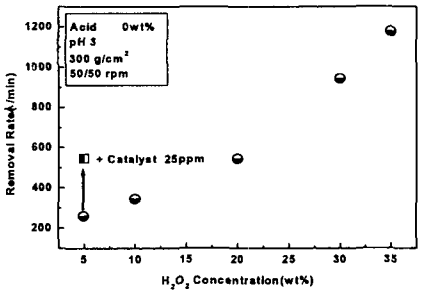


Fig. 6 Removal rate vs. oxidizer concentration

$H_2O_2$는 대기 중에 방치하면 $H_2O$와 $O_2$로 자연 분해되기 때문에 그 제조에 있어서 안정제가 들어가게 된다. 이러한 안정제는 $H_2O_2$가 텅스텐을 산화시키는데 어려움을 주며 이는 기계적 제거 대상인 텅스텐 산화물을 형성할 수 없게 만든다. 따라서 산화제 5wt% 수준에서 연마제거율 향상을 위해 $H_2O_2$를 활성화시킬 수 있는 촉매(catalyst) 적용이 필요하다.

Fig. 7, 8은 촉매와 산의 농도에 따른 결과를 보여주고 있다. 특히 촉매에 의한 연마제거율 향상을 Fig. 6, 8에서 알 수 있는데 $H_2O_2$ 5wt%에서 촉매 25ppm이 첨가되었을 때 연마제거율이 약2배 정도

증가하였다. $H_3PO_4$ 0.1wt%일 때 촉매가 25-50ppm에서 연마제거율은 1000Å/min 부근까지 증가하며 촉매의 농도가 증가하면 오히려 연마제거율이 감소한다.

그리고 촉매 25ppm일 때 $H_3PO_4$는 0.1wt%에서 최대 연마제거율을 나타내고 있다. 또한 촉매와 유사하게 $H_3PO_4$의 농도가 증가하면 연마제거율은 감소하게 된다. 이는 $H_3PO_4$가 $H_2O_2$에 의해 킬레이트제로 변화하여 나타나게 되는 현상이다.

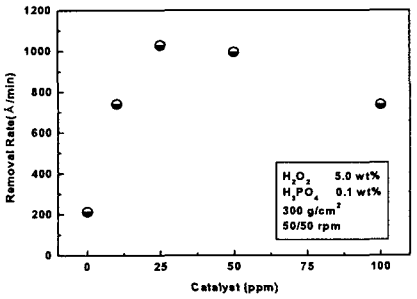


Fig. 7 Removal rate vs. catalyst concentration

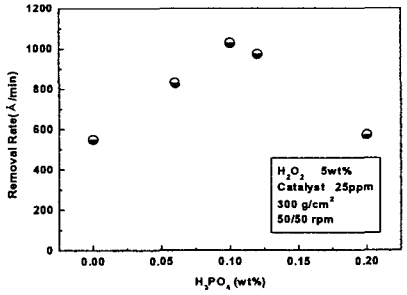


Fig. 8 Removal rate vs. acid concentration

촉매가 화학액에 포함되지 않았을 경우 $H_3PO_4$는 etchant의 역할을 하지 못하고 있다. 이는 텅스텐이 전자를 잃어 산화되지 못하여 약산인 $H_3PO_4$에 용해(dissolution or etching) 될 수 없었기 때문이라 추정된다. 하지만 촉매가 포함된 화학액에서 $H_3PO_4$은 연마제거율을 향상시키는 etchant와 킬레이트제로서 작용하게 된다.

일반적인 텅스텐 CMP에 사용되는 MSW2000™ 슬러리와 IC1400™ 패드를 사용하여 고정입자패드를 이용한 결과와 비교하였다. 연마제거율은 상용 제품의 70% 수준을 확보하였고 연마불균일도(WIWNU)는 조금 더 좋은 결과를 보였다(Fig. 9).

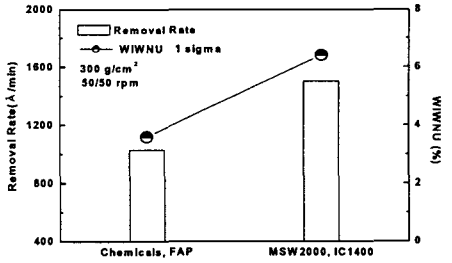


Fig. 9 Comparison of removal rate and uniformity between FAP-CMP and general CMP

향후 연구는 연마입자를 제어하여 마이크로 스크래치를 최소화하고 패드수명과 연마균일도를 확보할 수 있는 패드 제작과 화학액 개발을 진행 할 것이다.

## 4. 결론

본 연구는 친수성 고분자를 이용한 알루미나 고정입자패드를 텅스텐 CMP에 적용하기 위한 목적을 가지고 있으며 그 특성을 평가하였다.

결과 친수성 고분자를 이용함으로서 알루미나 고정입자패드의 self-texturing 특성을 확인하였다. 그리고 산화 촉매를 사용하여 연마제거율을 일반적인 텅스텐 CMP의 70% 수준으로 달성하였다. 또한 산화제, 촉매, 산의 조성에 따른 연마제거율 특성을 확인하였다.

## 참고문헌


1. Hoyoun Kim, Hyoungjae Kim, Haedo Jeong, "Development of an Abrasive Embedded Pad For Dishing Reduction and Uniformity Enhancement", Journal of the Korea Physical Society, Vol. 37, No. 6, pp. 948-951, Dec., 2000.
2. 이성훈, 김형재, 안대균, 정해도, "화학기계연마 컨디셔닝에 관한 연구", 한국정밀공학회, 제16권, 제5호, pp. 40-47, 1999.
3. 김형균, "반도체 공정중 유기박막의 화학적기계적 평탄화 가공기구에 대한 연구", 한양대학교 대학원, June, 1999.
4. "금속막 씨엠피용 슬러리 및 이를 이용한 씨엠피 방법", 대한민국특허청, 공개No. 특1999-0085105, 1999.
5. "세정 용액과 그 제조 방법 및 그 세정 용액을 이용한 세정 방법", 대한민국특허청, 공개No. 특1998-027525, 1998.