

텅스텐 CMP에서 디싱 및 에로전 결함 감소에 관한 연구

정해도[#], 박범영[’], 김호윤[”], 김형재[”]

부산대학교 기계공학부[#], 부산대학교 정밀기계공학과[’], 동부아남반도체[”], UC Berkeley[”]

A Study on the Reduction of Dishing and Erosion Defects

Haedo Jeong[#], Boumyoung Park[’], Hoyoun Kim[”] and Hyoungjae Kim[”]

School of Mechanical Eng., Pusan National Uni.[#], Precision and Mechanical Eng., Pusan National Uni.[’],
DongbuAnam Semiconductor[”], UC Berkeley[”]

Abstract

Chemical mechanical polishing(CMP) is essential technology to secure the depth of focus through the global planarization of wafer. But a variety of defects such as contamination, scratch, dishing, erosion and corrosion are occurred during CMP. Especially, dishing and erosion defects increase the resistance because they decrease the interconnect section area, and ultimately reduce the life time of the semiconductor. Due to this dishing and erosion must be prohibited. The pattern density and size in chip have a significant influence on dishing and erosion occurred over-polishing. Decreasing of abrasive concentration results in advanced pattern selectivity which can lead the uniform removal in chip and decrease of over-polishing. The fixed abrasive pad was applied and tested to reduce dishing and erosion in this paper. Consequently, reduced dishing and erosion was observed in CMP of tungsten pattern wafer with proposed fixed abrasive pad and chemicals.

Key Words : chemical mechanical polishing, tungsten, fixed abrasive pad, dishing, erosion, pattern selectivity

1. 서론

CMP 공정은 입자 오염(particle contamination), 부식(corrosion), 스크리치(scratch), 디싱(dishing), 에로전(erosion)과 같은 많은 결함들을 발생시킨다. 이러한 결함들은 배선의 단락이나 후공정에 영향을 미치게 되므로 제거되어야만 한다.

특히, 디싱 현상은 패턴 형상에 직접적인 영향을 미치는 결함으로 배선의 단면적 감소에 따른 RC 지연 시간의 증가와 단위 면적당 전류밀도를 증가시켜 electro-migration 현상을 유발할 수 있다. 또한 에로전은 절연층을 파괴시킴으로써 배선간의 불완전한 절연 특성을 나타낼 수 있다. 그리고 디싱과 에로전 결함은 후공정에서 평탄도(planarity)를 나쁘게 하는 요인이 될 수 있다. 따라서 디싱 및 에로전 결함이 발생하는 원인에 대한 연구와 이러한 결함을 근본적으로 방지할 수 있는 방법에 대한 연구가 진행되고 있는 추세이다.

2. 고정입자패드

2.1 문헌 연구

구리 패턴의 CMP 특성에 관한 연구 결과, J. M. Steigerwald는 디싱 현상이 패턴 폭에 크게 영향을 받으며, 에로전은 패턴 밀도에 의존한다고 하였다¹. 또한 디싱과 에로전의 근본적인 발생 원인에 대한 논문에서 R. Lum은 불균일한 패턴 폭과 밀도에 의해 칩 내에서 국부적인 과다 연마(over-polishing)가 발생하며, 이로 인해 디싱과 에로전이 발생한다 하였다².

S. Kondo는 연마입자가 없는 화학액만을 CMP에 적용하여 일반적인 CMP 결과와 비교하였다. 이러한 연마법(AFP: abrasive free polishing)은 일반적인 방법보다 디싱 발생량을 1/5 수준으로 줄일 수 있었으며, 디싱 현상은 결국 연마입자에 의해 발생함을 설명하였다. 하지만, 화학액만을 이용할

경우 디싱 결함은 줄일 수 있지만 연마제거율의 감소라는 단점이 있다³.

또한 최근 디싱과 에로전 결함을 줄이기 위한 방안으로 고정입자패드(fixed abrasive pad)가 소개되었으며, 이는 패드 표면에 연마 입자를 형성시키고 CMP 중 화학액을 공급하는 방식이다. 3M에서는 1995년 최초로 CMP에 적용할 수 있는 고정입자패드를 개발, 발표하였다.

고정입자패드를 다단계 구리 CMP에 일차 CMP에 적용한 결과 과다 연마에 민감하지 않은 특성을 나타내었으며, 공정 여유를 넓게 확보할 수 있다고 하였다⁴. 특히, M. Matsumoto는 구리 CMP에서 고정입자패드를 적용하여 일반적인 CMP 보다 양호한 평탄화 특성을 얻었다고 보고하였다. 그리고 디싱은 크게 감소하지 않았으나, 에로전이 거의 발생하지 않아 전체적인 안정성을 확보할 수 있다고 하였다⁵.

이와 같이 문헌에서는 디싱과 에로전 결함에 대한 발생 원인과 감소 방안에 대해 소개하고 있다. 따라서 본 연구에서는 결함 감소의 방안으로 고정입자패드를 선정하여 반도체 디바이스의 배선으로 사용되는 텅스텐에 대한 CMP에 적용하고자 한다.

2.2 고정입자패드

고정입자패드는 CMP에 참여하는 연마입자를 화학액에 분산시키지 않고 대신 패드 표면에 형성시키는 기술이다. 즉, 패드 표면에 연마입자층을 형성시키고 화학액을 공급하여 연마를 이룰 수 있다. 따라서 텅스텐 CMP에서 사용될 고정입자패드의 제작을 위해 연마입자로 알루미늄(Al_2O_3)을 사용하였다. 연마입자의 바인더(binder)는 폴리에틸렌글리콜(PEG), 폴리에틸렌 글리콜 메타아크릴레이트(PEGMA), 트리메틸프로판 트리메타아크릴레이트(TMPTA) 3가지 친수성 고분자를 이용하였다.

PEG, PEGMA, TMPTA 3가지의 바인더 비율은 팽윤(swelling) 특성과 내마모성을 평가하여 최적의 연마제거율 및 패드 수명을 나타내는 4:5:1로 하였다. 알루미늄 연마입자는 전체 바인더량의 25vol%을 혼합하였으며 교반기를 이용하여 분산시켰다. 또한 혼합과정에서 응집된 거대 연마입자를 분쇄하기 위해 지르코니아 볼을 이용하여 볼밀(ball mill)을 실시하였다. 볼밀된 알루미늄 연마입자의 평균 입경은 입도 분석 결과 $1.22\mu m(D50)$ 이

다. 연마입자가 혼합된 바인더를 경화시키기 위해 광 개시제(initiator)를 첨가하였다. 광 개시제는 PEGMA와 TMPTA의 사이드 체인인 메타크릴 산과 반응하여 모노머 간의 결합을 유도하는 역할을 한다. 연마입자층을 형성시키기 위해 스크린 프린터(screen printer)로 혼합물을 PC(polycarbonate) film에 프린팅한 후, 이를 자외선(UV)을 이용하여 광경화시켰다. CMP시 연마균일도와 평탄도를 고려하여 폴리우레탄 발포체인 IC1400 패드를 하부층으로 선택하여 프린팅된 패드를 접착시켰다. Fig. 1은 본 연구에서 사용될 제작된 고정입자패드를 보여주고 있으며, 고정입자패드의 패턴은 직경 1mm, 피치(pitch) 2mm, 높이 0.11mm이다.

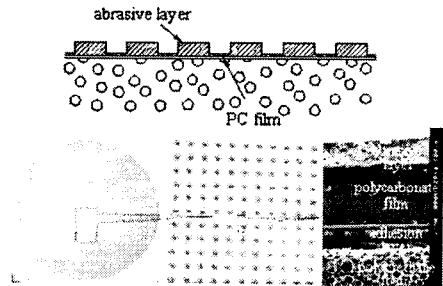


Fig. 1 Pictures of fixed abrasive pad embedded with alumina abrasives

3. 고정입자패드를 이용한 평탄화 특성

3.1 텅스텐 패턴 웨이퍼 실험

본 실험에서는 제작된 고정입자패드를 텅스텐 패턴 웨이퍼에 대한 CMP에 적용하여, 텅스텐 CMP에서 사용되는 일반적인 슬러리 MSW2000과 패드 IC1400를 이용한 CMP와 디싱 및 에로전 결함 정도를 비교 평가하고자 한다.

실험에 사용된 텅스텐 패턴 웨이퍼(SEMATECH wafer)는 직경 200mm 웨이퍼를 CMP 후 평가 20mm×20mm 다이(die)가 중앙에 위치하도록 40mm×40mm 크기로 다이싱(dicing)하여 사용하였다. Table 1은 실험조건을 보여주고 있다. 실험 조건에서 연마 압력, 속도, 슬러리 유량은 각 CMP 방법에 대해 동일하게 적용하였다.

Table 1 Experimental 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 5wt% Fe(NO ₃) ₃ 25 ppm H ₃ PO ₄ 0.1 wt%
pH	3.9	2.5(buffer KOH)

3.2 텡스텐 CMP 결과

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

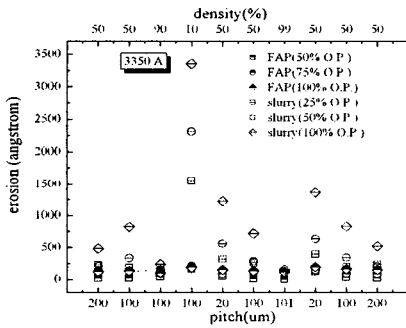
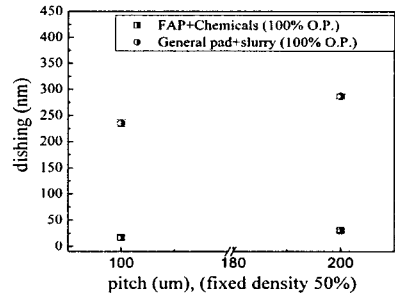


Fig. 2 Erosion as a function of pitch and density in CMP (I), (II)

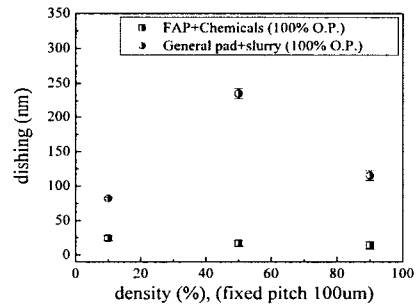
에로전은 연마 종점인 산화막의 두께가 초기 두께에서 감소하는 것으로 나노스펙(Nanospec: spot size 8 μ m)을 이용하여 각 산화막 패턴에 대해 두께를 측정하여 계산하였다. Fig. 2은 각 CMP 방법에 대해 패턴의 피치(pitch)와 밀도(density)에 따른 에로전을 나타낸 것이다. 여기서 패턴의 피치 및 밀도는 텡스텐 패턴 위에 증착된 산화막에 대한 값이다. 폴리우레탄 재질의 IC1400 패드와 MSW2000 슬러리를 이용한 텡스텐 CMP에서는 패턴의 밀도와 피치가 작을 수록 에로전이 증가하며, 과다연마시간이 증가하면 전체적으로 에로전이 증가한다. 그러나 본 연구에서 제작된 고정입자패드와 화학액을 이용한 텡스텐 CMP의 경우, 에로전은 패턴 밀도, 피치, 과다연마시간에 거의 영향

을 받지 않는 향상된 특성을 보이고 있다.

디싱의 평가는 초기 텡스텐 배선에 대한 피치 및 밀도로 이루어졌다. Fig. 3(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 텡스텐 배선의 상대 단차를 형상 측정기 WYKO에 의해 측정하여 계산되었다.



(a)



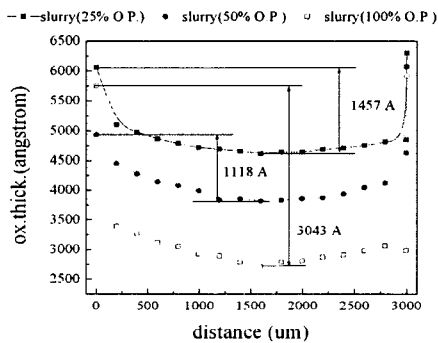
(b)

Fig. 3 Dishing as a function of pitch (a) and density (b)

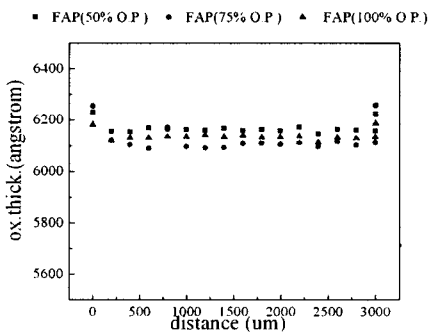
텡스텐 배선의 피치 및 밀도에 따른 디싱은 일반적인 텡스텐 CMP와 비교하여 고정입자패드와 화학액을 사용한 CMP에서 월등히 그 발생량이 적음을 볼 수 있다. 이와 같이 디싱은 에로전이 발생한 산화막을 기준으로 평가되며 배선의 단면적이 작아지는 현상이다. 본 실험에서 일반적인 CMP에 의한 텡스텐 배선의 단면적은 100% 과다연마에 의한 에로전 발생을 감안한다면 크게 얇아졌음을 알 수 있다.

이와 같은 디싱 현상과 관련하여 Fig. 4(a), (b)는 텡스텐의 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 두께와 그 가공 형상은 대략 200Å 범위에서 일정하게 유지되고 있다.



(a)



(b)

Fig. 4 Surface profile across the pattern : (a) general CMP, (b) CMP using fixed abrasive pad

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 고정입자패드의 적용은 CMP 중 초기 패턴에서부터 연마종점 이후까지 패턴에 대한 형상선택비(pattern selectivity)가 좋은 것으로 보인다⁶. 즉, 칩 내에 모든 부분이 균일하게 가공되

기 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 있다⁷. 하지만 고정입자패드의 이러한 특징은 여러 인자들 중 연마입자의 농도에 크게 관계하며 연마에 참여하는 연마입자가 자유입자를 사용하는 슬러리에 비해 월등히 적기 때문이라 보여진다.

4. 결론

본 연구는 디싱 및 에로전 결함 감소를 위해 텅스텐 CMP에 적용할 수 있는 고정입자패드와 화학액을 제작하였다. 텅스텐 패턴 웨이퍼에 대한 고정입자패드의 적용은 자유입자를 사용하는 일반적인 CMP 방법과 비교하여, 실험 결과 고정입자패드의 좋은 형상선택비 때문에 디싱 및 에로전은 패턴의 크기와 밀도, 과다연마시간에 거의 관계하지 않았으며 그 결함이 크게 감소함을 볼 수 있었다.

참고 문헌

- [1] J. M. Steigerwald, et al., J. Electrochem. Soc., vol. 141, No. 10, p. 2842, 1994.
- [2] R. Lum, et al., CMP-MIC Conf., p. 207, 1999.
- [3] S. Kondo, et al., J. of Electrochem. Soc., Vol. 147, No. 10, p. 3907, 2000.
- [4] V. Koinkar, et al., CMP-MIC Conf., p. 58, 2000.
- [5] M. Matsumoto, et al., CMP-MIC Conf., p. 176, 1999.
- [6] H. Y. Kim, et al., ASPE, p. 661, 2002.
- [7] H. Y. Kim, et al., J. of KPS, Vol. 37, No. 6, p. 945, 2000.